Untersuchungen zur ökologischen Charakterisierung einer biotopfremden Raubmilbe - Macrocheles peniculatus - (Acari: Parasitiformes), einem potentiellen Prädator zur biologischen Kontrolle schädlicher Dipteren im Ackerboden

Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors
der Naturwissenschaften

der
Fakultät für Biologie
der Eberhard - Karl - Universität Tübingen

vorgelegt von
Horst Günter Mielke
aus Engelskirchen

1984

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546514_0026

Untersuchungen zur ökologischen Charakterisierung einer biotopfremden Raubmilbe - Macrocheles peniculatus - (Acari: Parasitiformes), einem potentiellen Prädator zur biologischen Kontrolle schädlicher Dipteren im Ackerboden

Dissertation
zur Erlangung des Gardes eines Doktors
der Naturwissenschaften

der
Fakultät für Biologie
der Eberhard - Karl - Universität Tübingen

vorgelegt von
Horst Günter Mielke
aus Engelskirchen

1984

Tag der mündlichen Prüfung: 17.5 1984

Dekan: Professor Dr. E. Kulzer

1. Berichterstatter: Professor Dr. K. Wöhrmann

2. Berichterstatter: Priv. Dozent Dr. J Grunewald

Danksagung

Die Anregung zu dieser Arbeit bekam ich durch Herrn Dr. El Titi von der Landesanstalt für Pflanzenschutz. Herrn Professor Dr. Engels ist es zu verdanken, daß eine Zusammenarbeit zwischen einem Institut der Universität und der Landesanstalt möglich wurde. Er setzte sich auch für die Finanzierung der Untersuchungen durch das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten ein.

Die Bestimmung der Raubmilbenpräparate übernahmen dankenswerterweise Herr Dr. Hirschmann und Herr Dr. Van Daele von der Rijksuniversiteit Gent.

Den Aufbau der Kohlfliegenzucht ermöglichte durch seine Hilfe Herr Dr. Hertveldt, Rijksuniversität Gent.

Herrn Dr. Huger vom Institut für Biologische Schädlingsbekämpfung überprüfte in einem akuten Notfall den Gesundheitszustand der Raubmilben.

Für die hilfreiche, kritische Diskussion der Versuchsergebnisse und der Durchsicht des Manuskripts danke ich Herrn Dr. El Titi, Herrn Prof. Dr. Engels, Herrn Prof. Dr. Ohnesorge, Herrn Prof. Dr. Topp und Herrn Dr. Testerink.

Inhaltsangabe

Teil 1

Untersuchungen zur ökologischen Charakterisierung einer biotopfremden Raubmilbe - Marcocheles peniculatus - , einem potentiellen Prädator zur biologischen Kontrolle schädlicher Dipterenlarven im Ackerboden

I. Einleitung 9

II. Methoden, Material und Tiere

A Apparative Methoden

1 Analyse von Bodenproben ..... .13

a. die Berleseapparatur 13

b. Bestimmung der Feuchtigkeit.....14

2 Trennung und Auszählung der Tiere 15

a. die CO_2 Betäubungsmethode 15

b. die Pinseladhäsionsmethode 15

c. das CO_2 Trennungsverfahren 15

B Verfahrensmäßige Methoden

1 Haltung und Zucht 17

a. Musca domestica 17

b. Macrocheles peniculatus 18

2 Versuchsgefäße und -verfahren 19

a. Petrischalenversuche 19

b. Gefrierdosenversuche 19

c. experimentelle Ökosysteme 19

3 Theoretische Versuchsmethoden 22

a. multiplexes Versuchsverfahren 22

b. statistische Auswertung 23

III. Vorversuche

1 Suche nach dipterenschädlichen Raubmilben 25

2 Diptereneier und -maden Fütterungstest 26

3 Futterpräferenzen im Wahlversuch 28

4 Wahlversuch Hausfliegeneier und Kohlfliegeneier.30

IV. Untersuchungen zur ökologischen Anpassung

A Unterschiedliche Nahrungsmengen

1 Populationsverläufe 33

2 Such- und Fraßaktivität 36

B Unterschiedliche Feuchtigkeitsstufen

1 Such- und Fraßaktivität.....38

2 Vermehrungsrate 40

C Temperaturänderungen

1 Such-und Fraßaktivität.....43

2 Anzahl gelegter Eier 44

D Humusgehalt des Bodens

1 das aktive Wahlverhalten.....47

a. ohne Diptereneier 47

b. mit Diptereneiern 49

2 Vermehrungsrate 51

V. Suchleistung in lehmhaltiger Gartenerde

A Normierung

1 Fraßleistung bei vier Temperaturen.....54

B Unterschiedlich große Suchareale

1 in experimentellem Ökosystem 56

2 in Abhängigkeit von Grundfläche und Tiefe 61

a. M.peniculatus bei 15°C.....61

b. Vergleich mit P.septentrionales.....63

VI. Untersuchung der günstigsten Vermehrungs- und Zuchtbedingungen

A Temperatur

1 Vermehrungsrate 65

2 Effektivität der Eiproduktion 65

B Boden

1 Zersetzungsgrad des Humus 66

2 Alter des Ansatzes 68

3 Erste Versuche zur Entwicklung einer Diätbasis.....70

VII. Erstellung der Lebenstafel

A Versuche

1 Entwicklungsdauer. 72

2 Überlebensrate 74

3 Eilegerate 74

4 Reproduktionsdauer 76

5 Lebensdauer 78

B Berechnung

1 methodische Darstellung 78

2 Ergebnis 82

C Modelversuche

1 Veränderung der Lebensdauer 82

2 Vermehrung der Eilegerate 84

3 Veränderung der Entwicklungsdauer 84

VIII. Zusammenfassung

A Ökologische Charakterisierung

1 Boden 86

2 Feuchtigkeit 87

3 Temperatur 87

4 Nahrung 88

5 Fraßleistung.....88

6 Hungerresistenz 89

7 Beutesuchverhalten 89

8 Orientierung 90

B Vermehrungsbiologische Untersuchungen

1 Versuche 90

2 Vermehrung 90

3 Modelberechnung 91

C Zucht- und Haltungsbedingungen 91

IX. Diskussion

1 Einordnung und Beurteilung 93
a. Vorversuche 93
b. Untersuchungen an M.M.peniculatus 94
2 Stellung innerhalb der Macrocheliden 96
3 Reproduktions- und Zuchtbedingungen 100
4 Perspektiven 102
a. biologische Schädlingsbekämpfung 102
b. selektive Zuchtwahl 103

Teil 2

Weitergehende Untersuchungen in experimentellen Ökosystemen:
Die Populationsentwicklung von Collembolen bei periodischer Futterzugabe und verschiedenen Temperaturen

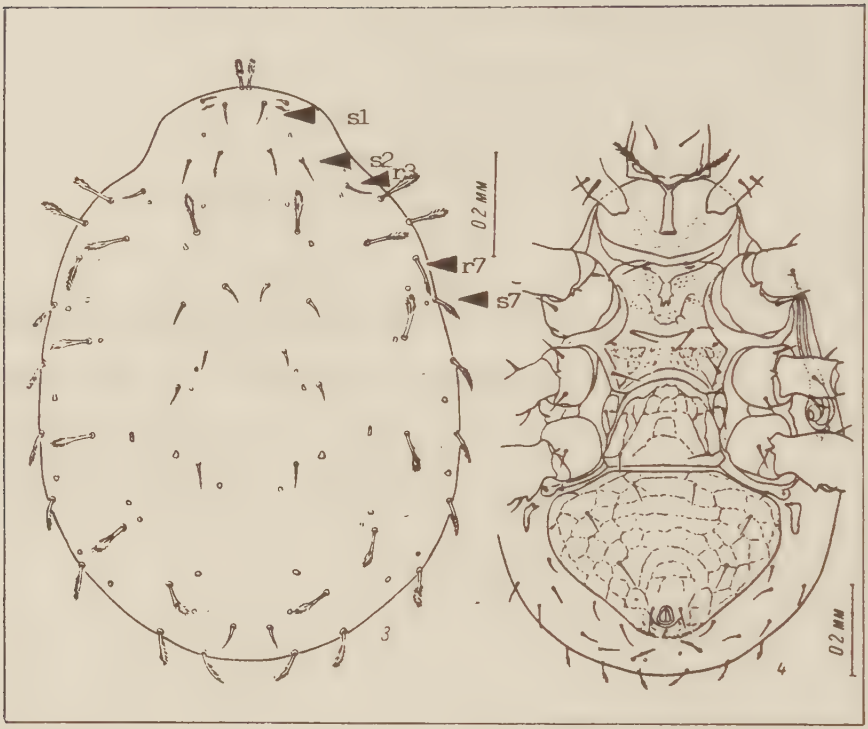
X. 1 Einleitung 107
2 Methode 107
3. Ergebnisse
a. gemeinsame Populationsschwankungen der Arten ...114
b. Periodenlänge der Populatonsschwankungen 119
a. Gesamtpopulation 119
b. einzelne Größenklassen 123
c. Einfluß der Temperatur 127
d. Einfluß des Fütterungsintervalls 133
c. Einfluß der Raubmilben auf die Populationsdichte der Collembolen 133
4. Diskussion
a. Die gemeinsamen Populationsschwankungen oder

das Problem der geringen Nahrungsspezialisierung unter Konstantbedingungen 135
b. Die periodische Synchronisierung der Reproduktion und ihre Temperaturunabhängigkeit 137
5. Zusammenfassung 142

XI. Literaturangabe 145

Teil 1

Untersuchungen zur ökologischen Charakterisierung einer biotopfremden Raubmilbe - Macrocheles peniculatus - , einem potentiellen Prädator zur biologischen Kontrolle schädlicher Dipterenlarven im Ackerboden



Macrocheles peniculatus

Die Abbildung stammt aus Ghilarov und Bregotova 1977. Die Haarbezeichnung wurde zur Erläuterung der charakteristischen Merkmale hinzugefügt.

Wesentliche Unterscheidungsmerkmale sind gegenüber Arten der gleichen Gruppe: die schwache Fiederung von s7 und r7 im Vergleich zu den glatten Haaren von M.pavlovskii und die fehlende Fiederung bei s1, s2 und r3 im Vergleich zu M.superbus. (Hirschmann, 197o).

I. Einleitung

Die Bekämpfung von wurzelschädigenden Dipterenlarven mit biologischen Mitteln steht trotz zahlreicher Untersuchungen noch immer in den Anfängen, (Schoene,1916; de Wilde,1947; Wright et al.,1956; Hughes und Mitchell,1960; Riedel,1967; Vereecke und Hertveldt,1971; Maack,1977; Keymeulen et al.,1981).

Das Problem der Bekämpfung liegt z. B. bei der Kohlfliege darin, daß sie zu Beginn der Wachstumsperiode den größten Schaden verursacht, zu einer Zeit, in der ihre natürlichen Feinde erst langsam mit dem Aufbau einer Population beginnen. Da die Kohlfliege sich bis zum Ende der Wachstumsperiode über mehrere Generationen fortpflanzt, ist sie, wenn sie überleben will, wegen des Anstiegs der Räuberpopulation im Verlauf des Sommers, darauf angewiesen, zu Beginn der Wachstumsperiode, im Frühjahr, möglichst viele Nachkommen durchzubringen. Der größere Schaden im Frühjahr ist also durchaus mit den natürlichen Bedingungen des ökologischen Gleichgewichts erklärbar.

Ein weiteres Problem ergibt sich daraus, daß die natürlichen Feinde in der Regel als K-Strategen eine relativ langsame Entwicklungs- und Vermehrungsrate haben und meist polyphag sind. Da theoretisch verständlich, sich in der Praxis noch keine biologische Schädlingsbekämpfung mit natürlichen Feinden durchgesetzt hat, sollte in dieser Untersuchung geklärt werden, ob eine biotopfremde Raubmilbe für eine Bekämpfung in Frage kommt. Der Einsatz von biotopfremden Tieren ist in der biologischen Schädlingsbekämpfung nicht unbekannt: die in Gewächshäusern zur Bekämpfung der Spinnmilbe eingesetzte Raubmilbe Phytoseiulus persimilis stammt aus Chile, die Erzwespe Trichogramma, in

unseren Breiten zur Bekämpfung des Maiszünslers eingesetzt, hatte ihr ursprüngliches Verbreitungsgebiet in Süd-Rußland. Beim Beginn der Untersuchungen war bekannt, (Filipponi et al., 1967), daß es Raubmilben aus der Familie der Macrocheliden gibt, die eine hohe Vermehrungsrate zeigen und zum überwiegenden Teil Diptereneier und -larven fressen. Sie kommen zwar überwiegend in der Brutstätte der Fliegen vor, in Dung- und Komposthäufen; man findet sie aber auch in Wald- und Wiesenböden sowie vereinzelt in Ackerböden (Karg,1971). Die in etwa ähnliche Verbreitung von Dipterenlarven läßt die Vermutung zu, daß es möglicherweise nur die geringe Nahrungsbasis ist, die ein längerfristiges Überleben der Macrocheliden im Ackerboden verhindert. Begonnen wurden die Untersuchungen mit einem Screening in verschiedenartigen Ackerböden der Umgebung Tübingens. Dabei wurde die Anzahl und Häufigkeit verschiedener Raubmilben im Ackerboden ermittelt.

Da bei diesen Untersuchungen keine Macrocheliden gefunden wurden, machte ich die weiteren Untersuchungen mit M.peniculatus, die ich in einem humusreichen Boden einer biologischen Gärtnerei bei pflanzlichen Abfällen im ersten Zersetzungsgrad fand. Im ersten Teil der Untersuchungen werden die für Macrocheles peniculatus wichtigsten Lebensbedingungen untersucht. Dabei werden insbesondere die für den Ackerboden charakteristischen Bedingungen, wie starke Feuchtigkeits- und Temperaturschwankungen und ungünstige Nahrungsverhältnisse untersucht. Der Teil V behandelt das Problem der Suchleistung von M.peniculatus in dem ihr fremden Biotop des Ackerbodens. Teil VI der Arbeit

untersucht Aspekte zur Optimierung der Reproduktionsbedingungen. Im letzten Abschnitt des ersten Teils werden schließlich die für einen Vergleich der Reproduktionsleistung mit anderen Tieren wichtigen Werte der Lebenstafel ermittelt. An einem mathematischem Model wird dabei die Wirkung veränderter entwicklungs- und vermehrungsbiologischer Parameter auf die Vermehrungsrate untersucht und mit der Reproduktionsstrategie von M.peniculatus verglichen.

Da wesentliche Teile der Untersuchungen unter naturgetreuen Bedingungen in experimentellen Ökosystem gemacht werden mußten, ergaben sich bei der Analyste der Daten einige Ergebnisse, die eine besondere Form der Nutzung knapper Nahrungsresourcen bei Entomobryiden, einer Collembolenfamilie zeigen. Sie geben einen Einblick in die besondere Problematik des Überlebens im Ackerboden und werden im Teil 2 der Arbeit dargestellt.

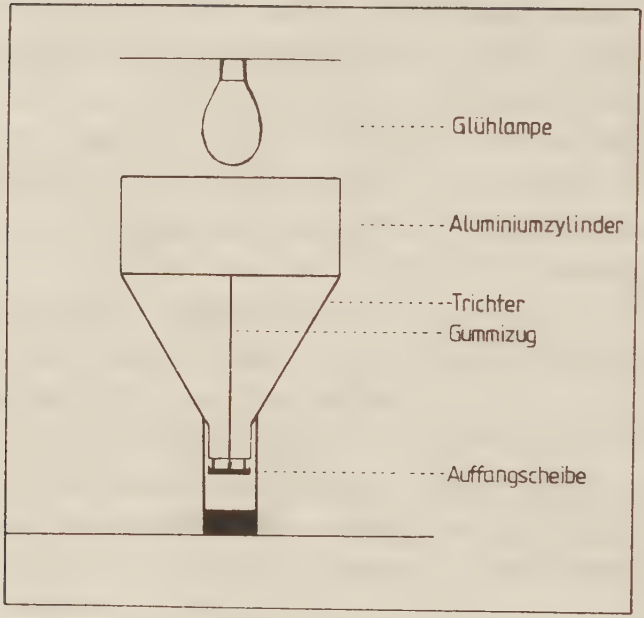


Abb.1 Berleseapparatur

II. Methoden, Material und Tiere

In diesem Kapitel sind nur die für weitere Versuche verwendeten Verfahren und die Haltungs- und Zuchtbedingungen dargestellt. Der Versuchsablauf und speziellere Methoden sind bei den einzelnen Versuchen im Ergebnisteil zu finden.

II. A Apparative Methoden

II. A 1 Verfahren zur Analyse von Bodenproben

II. A 1 a. die Berleseapparatur

Beschreibung:

Der wesentliche Bestandteil des Gerätes ist ein Trichter, (Abb.1), über dessen obere Öffnung ein Fliegendrahtgitter mit einer Maschenweite von 1 mm gespannt war. Auf diese Öffnung wurde eine ringförmige Umrandung aus Aluminiumfolie gesetzt, die verhindern sollte, daß die Tiere über den Trichterrand aus der Apparatur herausfallen. Die Erde wurde in einer ein bis zwei Zentimeter dicken Schicht auf das Maschengitter aufgetragen und mit einer 6o Watt Glühlampe beleuchtet und getrocknet.

Da ich in der Regel lebende Tiere haben wollte, stellte ich den Trichter in ein Drophila-Glas, dessen Öffnung nur geringfügig größer war als der untere Teil des Trichters und klebte den Rand mit einem Testband zu. Um ein Austrocknen der Tiere zu verhindern, hatte das Glas einen Boden aus einer angefeuchteten Gipsscheibe.

apparative Neuerung:

Da mit den Tieren auch stets Erdteile ins Glas fielen, die ein Zählen erschwerten, befestigte ich eine Gipsscheibe mit etwas erhöhtem Rand an einem Gummizug unter die Trichteröffnung. Die

Erde blieb auf dieser Scheibe liegen, während die Tiere über den Rand liefen und an der glatten Palstikumrandung des Deckels, in die ich die Gipsmasse gegossen hatte, abrutschten und ins Glas fielen.
Auf diese Weise erhielt ich eine absolut saubere Trennung von Mikroarthropoden und Erde, die das Auszählen der Tiere wesentlich erleichterte.

methodische Genauigkeit:

Um abzusichern, in welchem Verhältnis die im Boden vorhandenen Tiere quantitativ bei der Bodenanalyse mit dieser Berleseapparatur erfaßt werden, setzte ich in fünf vorher getrocknete Bodenproben jeweils 6 Pergamasus septentrionales und lo Macrocheles peniculatus. Wiedergefunden wurden 28 bzw. 48 Tiere. Das entspricht einer Extraktionseffizienz von 93 % bzw. 96 %. Die Verluste sind wohl eher auf die Bodenbehandlung während des Einfüllens zurückzuführen als auf das Austrocknen selbst.

II. A l b. **Bestimmung der Bodenfeuchtigkeit**

Die Bodenfeuchtigkeit bestimmte ich über die maximale Wassertragfähigkeit des Bodens. Zu diesem Zweck kam der Boden in einen Zylinder, der nach unten mit einem Gazetuch verschlossen war, und wurde stark bewässert. Wenn das Tropfen aufgehört hatte, wurde das Gewicht des Bodens bestimmt. Aus dem Differenzgewicht bestimmte ich die Menge des aufgenommenen Wassers, die ich dann als die maximale Wasserkapazität (WK), = loo % setzte.

II. A 2 Verfahren zur Trennung und Auszählung der Tiere

II. A 2 a. die CO_2 Betäubungsmethode

Beschreibung:

Die Tiere verblieben in dem Glas, mit dem sie aus der Berleseapparatur aufgefangen worden waren. Ein Schaumgummistopfen mit Schlauch wurde auf das Glas aufgesetzt, CO_2 in das Glas eingelassen und die betäubten Tiere gezählt bzw. auf morphologische Merkmale untersucht.

II. A 2 b. die Pinseladhäsionsmethode

Beschreibung:

In der Regel benutzte ich zum Zählen der Tiere einen angefeuchteten dünnen Pinsel. Beim Antupfen blieben sie daran hängen und konnten aus dem Gefäß entfernt und einzeln ausgezählt werden.

II. A 2 c. das CO_2 Trennungsverfahren

allgemein:

Bei einer genaueren Analyse der CO_2 Betäubungsmethode, machte ich die Beobachtung, daß eine Korrelation zwischen Begasungsdauer und Betäubungsdauer besteht, und daß verschiedene Raubmilbenarten und Collembolen unterschiedlich lange betäubt wurden (Abb.2). Für die vorliegenden Untersuchungen von Macrocheles peniculatus war diese Beobachtung von untergeordneter Bedeutung. Bei der Analyse der experimentellen Ökosysteme, bei denen auch die Populationskurven von M.peniculatus erfaßt wurden, wurde sie jedoch schon zur Trennung verschiedener Mikroarthropodenarten eingesetzt.

Beschreibung:

Die Tiere verblieben im Auffangglas, wurden eine Minute mit

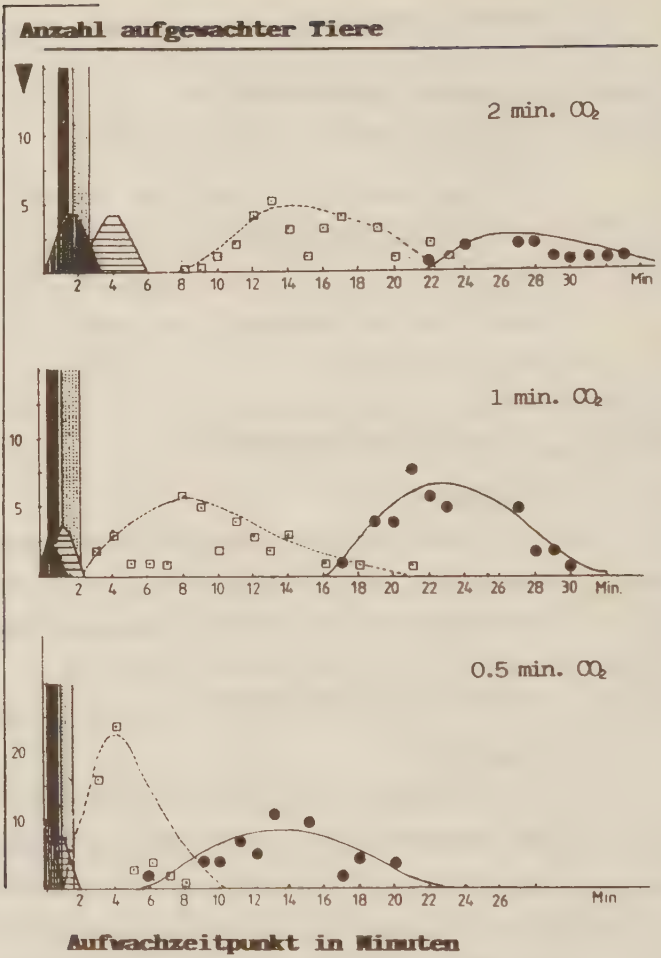


Abb.2 Verschiebung des Aufwachzeitpunktes in Abhängigkeit der CO_2 Betäubungsdauer bei bei einigen Raubmilben und Collembolen

Poduriden spec. Entomobryiden spec.
M.peniculatus P.septentrionales

Rechts in jedem Diagramm ist die CO_2 Begasungsdauer angegeben

CO_2 begast, dann wurde das Aufwachen der ersten Arten abgewartet und das Glas umgedreht. Die noch betäubten Tiere fielen heraus und die anderen verblieben im Glas, weil sie sich aktiv festhalten konnten. Dieser Vorgang wurde mehrmals, bis zu einer genügend guten Trennung der Tiere wiederholt, die dann problemlos nach Arten gezählt werden konnten mit dem zusätzlichen Vorteil, daß sie noch lebend waren und in die experimentellen Ökosysteme zurückgesetzt werden konnten.

II. B Verfahrensmäßige Methoden

II. B 1 Haltung und Zucht

II. B 1 a. die Zucht der Hausfliege Musca domestica

Grund:

Für die Versuche und zur Zucht der Raubmilben wurden regelmäßig Diptereneier benötigt. Da die Zucht der Hausfliege Musca domestica einfacher ist als die Zucht der Kohlfliege Erioichia brassicae, wurden, bis auf eine Testreihe mit Kohlfliegeneiern, ihre Eier und Maden für die Versuche verwendet.

Verfahren:

Die Zucht wurde nach einem schon lange im Institut praktizierten Verfahren gehandhabt. Die Haltungs- und Zuchttemperatur war 21°C. Die Nahrungsgrundlage der Maden bestand aus einer Mischung von Kleie, Quark und Futterhefe im Volumenverhältnis 4:2:1.

verfahrensmäßige Neuerung:

Ursprünglich ließ man die Maden sich in dem alten Futterbrei verpuppen und schwemmte zur Gewinnung der Puppen diesen Brei mit Wasser auf. Die an der Wasseroberfläche schwimmenden Puppen wurden dann mit einem Sieb abgeschöpft.

Die Gewinnung der Puppen wurde dahingehend verbessert, daß die Maden, kurz vor ihrer Verpuppung, über ein Sieb aus dem Futterbrei in eine darunterstehende Schüssel auswandern konnten. Voraussetzung für ein gutes Gelingen mit dieser Methode ist, daß der Futterbrei knapp bemessen wird und seitlich kein Licht in die Schüssel fällt. Ein zweites Verfahren, das eine noch saubere Trennung der Maden (Puppen) vom Nahrungsbrei ermöglicht, besteht in einem Umschütten des Futterbreies in eine flachere Schüssel und stärkerem Anfeuchten des Breies. Die Maden kriechen dann aktiv aus dem Brei und können in einer weiteren Schüssel aufgefangen werden. Auch hierfür müssen die beiden ineinanderstehenden Schüsseln abgeschlossen und verdunkelt stehen. Der Zeitpunkt für das Umschütten der Maden in das Sieb oder die flachere Schüssel bestimmt sich nach dem Erscheinen der ersten Puppen. In den Schüsseln verpuppen sich die Maden und sind so sauber von den Futterresten getrennt. Das war in dem ursprünglichen Verfahren nicht in diesem Maß möglich. Der wesentliche Vorteil liegt aber in einer Arbeitserleichterung, dem Fortfall eines Arbeitsganges, dem Aufschwemmen und Aussieben der Puppen aus dem Futtersubstrat.

II. B 1 b. die Zucht von Macrocheles peniculatus

allgemeine Zucht- und Haltungsbedingungen:

Für die Untersuchungen mußte ich stets genügend Tiere haben. Da ich herausgefunden hatte(s. IV.D 1), daß Macrocheles peniculatus humushaltige Böden bevorzugen, hielt und züchtete ich sie in Böden dieser Art, ohne daß ich mich auf einen speziellen Boden festlegte. Von der Gärtnerei des Botanischen Gartens bekam ich verschiedene Böden, teils aus stark verrottetem Laub, teils aus ebenfalls stark verrottetem Humus von Grünpflanzen. Die

Tiere vermehrten sich in einem größeren Temperaturbereich. In der Regel züchtete ich sie bei 21°C. Als Futter bekamen sie Hausfliegeneier.

Zur Erhaltung einer konstant hohen Vermehrungsrate war es besser, die humushaltigen Erden etwa monatlich zu wechseln.

II. B 2 **Versuchsgefäße und Versuchsverfahren**

II. B 2 a. **Petrischalenversuche**

Ein Teil der Versuche wurde in Petrischalen mit einem Durchmesser von etwa 8 cm vorgenommen. Teilweise waren die Petrischalen mit Erde gefüllt, teils hatten sie einen Boden aus einem fest erstarrten Gips-Aktivkohlegemisch. Durch die Aktivkohle wurde der Boden schwarz eingefärbt und eignete sich besser zum Beobachten der einzelnen Entwicklungsstadien, die vom Ei bis zum frisch gehäuteten adulten Tier weißlich sind.

II. B 2 b. **Gefrierdosenversuche**

Einige Vermehrungsversuche und Beutesuchversuche wurden in diesen Dosen (1o x 2o x 1o cm) durchgeführt. Sie hatten den Vorteil, etwas größer als die Petrischalen zu sein. Das ist insbesondere bei Beutesuch- und Fraßversuchen wichtig.

II. B 2 c. **Versuche in experimentellen Ökosystemen**

allgemein:

Im Rahmen weitergehender bodenökologischer Untersuchungen wurden sechs experimentelle Ökosysteme eingerichtet. Diese relativ einfache Möglichkeit, komplexere ökologische Abhängigkeiten im Labor zu untersuchen und gezielte planmäßige Veränderungen durchzuführen, wird selten genutzt. In solchen Systemen ist

es aber eher möglich, Ergebnisse zu erhalten, die nicht nur unter den standardisierten Bedingungen des Labors gültig sind, sondern mit einer größeren Sicherheit auf natürliche Gegebenheiten übertragbar sind.

Zusammen mit den Untersuchungen an M.peniculatus wurden noch von weiteren Mikroarthropoden populationsdynamische Untersuchungen durchgeführt. Insgesamt waren in den Systemen 1o regelmäßig zu findende Milbenarten, 7 Collembolenarten, 3 Staphylinidenarten und eine Isopoden- und Diplopodenart, deren Vorkommen in Art und Menge wöchentlich protokolliert wurde.

Herstellung der Systeme:

Für den Boden wurde getrocknete, lehmhaltige Gartenerde verwendet. Bei der Herstellung des Bodens wurde darauf geachtet, daß der Boden in allen Systemen die gleiche Beschaffenheit hatte. Dazu wurde die Erde in drei Fraktionen eingeteilt, kleiner 1 mm, kleiner 1 cm und größer gleich 1 cm. Die Fraktionen wurden gewogen und zu gleichen Teilen auf die Systeme in drei Schichten verteilt. Nachdem die feinste Bodenschicht aufgetragen war, kamen in jedes System 12 perforierte Petrischalendeckel (Abb.3) mit einer weitmaschigen Umrandung von 5 mm. Danach wurden die beiden anderen Bodenschichten aufgetragen. Die Petrischalen sollten die wöchentliche Probeentnahme erleichtern und sicherstellen, daß keine Tiere durch eine Bodenverdichtung ums Leben kommen.

Nach dem Boden wurde in jedes System 2o gr organisches Material eingewogen. Je zwei Systeme bekamen Platanenblätter, Gras oder Kohlblätter, jeweils in getrocknetem Zustand.

Zum Schluß kamen die Tiere, die ich beim Trocknen der Erde im Berleseapparat erhalten hatte, in angenähert gleicher Anzahl in die Systeme. Die Menge der kleinerern Collembolen wurde dabei volumenmäßig bestimmt.

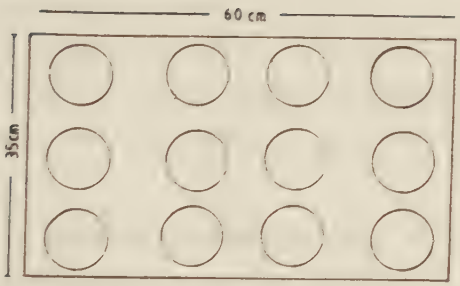


Abb. 3
Grundfläche eines experimentellen Ökosystems

O Petrischalen zur Erleichterung der Bodenprobeentnahme

II. B 3 theoretische Versuchsmethoden

II. B 3 a. multiplexes Versuchsverfahren

allgemein:

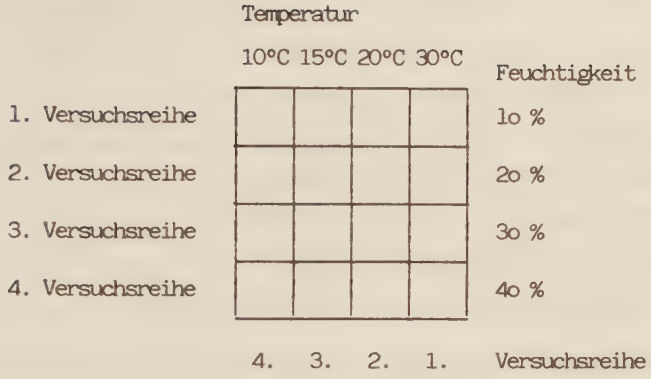
In vielen der folgenden Versuche habe ich ein Verfahren angewandt, bei dem ich mehrere Parameter gleichzeitig geändert habe. Auf diese Weise war es möglich, mit weniger Wiederholungsversuchen zu gesicherten Aussagen zu kommen als es bei einer getrennten Untersuchung der einzelnen Parameter der Fall gewesen wäre.

Erklärung:

In der Regel wird im wissenschaftlichen Experiment nur ein Parameter geändert. Ein solches Verfahren hat durchaus seinen Sinn, weil es die Wirkungs-Ursachen-Relation am eindeutigsten klärt und am ehesten eine praktisch verwertbare Umsetzung der Ergebnisse ermöglicht.

Das multiplexe Verfahren, bei dem mehrere Parameter gleichzeitig geändert werden, beruht im Prinzip auf der gleichen Vorgehensweise. Es geht von der Überlegung aus, daß bei einem Versuch zwar nur ein Parameter geändert werden darf, daß aber der Wert der konstant zu haltenden anderen Parameter beliebig ist. Bei Versuchswiederholung läßt sich der Wert eines solchen Parameters durchaus ändern. Das Verfahren eignet sich am besten für kontinuierlich veränderbare Parameter.

Bildlich ist es für den Fall von zwei Parametern wie folgt darstellbar:



II. B 3 b. statistische Auswertung

Die Versuche sollen einen möglichst umfassenden ersten Überblick über die charakteristischen physiologischen, ökologischen Eigenschaften von M.peniculatus geben. Um den Arbeitsaufwand im überschaubaren Rahmen zu belassen und um dennoch zu statistisch sicheren Aussagen zu kommen, wurden alle zentralen Aussagen über möglichst verschiedenartige Versuche abgesichert. So wurden die Aussagen z.B. zum Feuchtigkeitsverhalten über Versuche zur Vermehrung, zur Eifraßrate und zum Beutesuchverhalten abgesichert. Desweiteren wurden die einzelnen Werte eines Versuches, wenn möglich, als Summenwert von mehreren Tieren erhoben, so daß mit einem relativ geringen Aufwand eine hohe Anzahl von Tieren beobachtet werden konnte.

Weil wegen des meist geringen Stichprobenumfanges die Verteilungsform der Grundgesamtheit als unbekannt angesehen werden mußte, wurden bis auf wenige Ausnahmen nur parameterfreie Tests zur statistischen Absicherung herangezogen.

Für korrelierende Stichproben wurde der Rangsummentest nach

Wilcoxon verwendet und ansonsten der Rangsummentest nach Mann-Whitney (U-Test). Beide gehören mit einer Effizienz von etwa 95 % zu den schärfsten parameterfreien Verfahren.

In Fällen, in denen der Rangsummentest als nicht günstig erschien, wurde bei einer genügend großen Stichprobe und angenäherten Normalverteilung eine einfache Varianzanalyse durchgeführt, war der Stichprobenumfang gering, wurde versucht, auf eine andere Weise eine Sicherheit zu gewinnen. So wurde in den Versuchen IV B 1 und 2, in denen stets nur drei Werte direkt miteinander vergleichbar waren, eine Klassenbildung vorgenommen.

In diesen Versuchen sollte die Auswirkung von Temperaturänderungen auf die Eilege- und Eifraßrate untersucht werden. Darum wurde der erste Wert nach der Temperaturänderung in drei Klassen sortiert: 1. Er ist ein Extremwert (höchster oder kleinster Wert) und zeigt die erwartete Temperaturwirkung; 2. Er ist ein mittlerer Wert und die Temperaturwirkung ist nicht bestimmbar; 3. Er ist ein Extremwert und weicht in die unerwartete Richtung ab. Durch diese Art der Klassenbildung war es möglich, nicht direkt vergleichbare Werte zu einer größeren Klasse zusammenzufassen und sich eine Sicherheit über das Ergebnis zu verschaffen.

III. Vorversuche

Ziel:

Ziel der ersten Untersuchungen war es, festzustellen, welche der im Ackerboden vorhandenen Raubmilben Diptereneier in der Größe von Kohlfliegeneiern fressen, und in welcher Dichte sie vorkommen. Dabei war außer von den Macrocheliden unbekannt, ob es überhaupt andere Arten gibt, die Diptereneier fressen.

III. 1 Screening nach Diptereneiern und -maden fressenden Raubmilben

Versuchsablauf - Methode:

In zwei aufeinanderfolgenden Jahren wurden Bodenproben von Feldern in der Umgebung Tübingens genommen. Im ersten Jahr waren es ausschließlich Kohlfelder mit unterschiedlicher Bewirtschaftungsweise. Im zweiten Jahr wurden noch Felder mit Raps- und Zwiebelanbau hinzugenommen.

Bei den Kohlfeldern handelt es sich um die Fildern, ein landwirtschaftliches Anbaugebiet bei Stuttgart, auf dem im größeren Maßstab Kohl angebaut wird, um eine Gärtnerei, die nach der biologisch dynamischen Bewirtschaftungsweise arbeitet, um einen konventionell arbeitenden Gärtnereibetrieb sowie um einen Privatgarten. Die Proben wurden den ganzen Sommer über genommen, mit vier Probeentnahmeterminen. Die Probeentnahmestellen waren Flächen um die Pflanzen. Von jedem Versuchsfeld wurden pro Untersuchungstag 10 500 ml Schraubdeckelgläser gefüllt. Bei der Probeentnahme wurde die obere Erdschicht bis zu 5 cm tief mit einer Schaufel abgetragen. Die Erde wurde in einem Schraubdeckelglas transportiert und die Probefläche über das Erdvolumen des Glases zurückgerechnet, was ein insgesamt wenig befriedigendes Verfahren ist. Die für Bodenuntersuchungen relativ große Untersuchungsfläche

von 4,4 m^2 ergibt jedoch einen recht gesicherten Überblick von den im Ackerboden vorkommenden Diptereneier und -maden fressenden Raubmilben.

Ergebnisse:

Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Im konventionell arbeitenden Gärtnereibetrieb wurden an den ersten beiden Untersuchungstagen nur drei nicht bestimmbare Raubmilbennymphen gefunden. Die Untersuchungen wurden deshalb dort nicht weitergeführt und die Ergebnisse in der Tabelle nicht aufgeführt.

In der Tabelle sind nur adulte Raubmilben berücksichtigt, die größer als einen halben Millimeter waren. Kleinere Arten sind größenmäßig nicht in der Lage, größere Diptereneier, wie die der Kohlfliege, zu erbeuten.

Die Ergebnisse des zweiten Untersuchungsjahres (unter Summe der Tabelle 1 aufgeführt), die mit dem Ziel, weitere Arten zu finden, auf anderen Feldern durchgeführt wurden, bestätigen hierbei das im ersten Jahr gefundene Artenspektrum. Macrocheles Arten wurden bei diesen systematischen Untersuchungen nicht gefunden.

III. 2 Diptereneier und -maden Fütterungstest

allgemeiner Hintergrund:

Nur bei wenigen Raubmilben wurden Fütterungstests durchgeführt. Von den Macrocheliden war bekannt, daß sie Diptereneier fressen (Filipponi,1955). Für die im Ackerboden häufiger vorkommenden Arten gibt Karg, 1971, einen Überblick. Tests mit Diptereneiern wurden keine gemacht.

Der folgende Versuch sollte klären, ob es außer den Macrocheliden

	1979			Summe	
	Fildern	Biol.G.	Garten	1979	1980
Gesamtfläche der Proben	0,73	0,48	1,03	2,3	2,1 m²
Pergamasus					
P. crassipes	9	7	7	23	28
P. septentrionales	1	4	-	5	4
P. quisquiliarum	3	-	5	8	23
P. diversus	-	-	17	17	10
P. runcatellus	2	5	-	7	-
P. oxygynelloides	-	-	5	5	-
P. magnus	1	-	-	1	-
P. digitilus	-	-	9	9	-
Pachylaelaps					
P. pectinifer	5	64	2	71	1
P. magnus					7
Parasitus					
P. berlesei	-	2	1	3	5
P. coleoptratorum	-	-	-	-	10
P. fimetorum	-	-	-	-	6
P. islandicus	-	-	-	-	1
P. kraepelini	4	-	-	4	-
Vageia					
V. planicola	-	1	7	8	-
V. cerva	-	-	2	2	1
Cyrtolaelaps mucronatus	-	-	-	-	1

Tab. 1
Screening Ergebnisse

Anzahl und Arten der im Ackerboden gefundenen Raubmilben

noch andere Raubmilben gibt, die als Eiräuber in Frage kommen.

Versuchsbeschreibung:

Für die Fütterungstests (Tabelle 2), die nur im zweiten Jahr durchgeführt wurden, verwendete ich Hausfliegeneier und -maden. Das Alter der verwendeten Eier war maximal drei Stunden, weil bei älteren Eiern die Gefahr bestand, daß Maden innerhalb des Untersuchungszeitraumes von 18 Stunden schlüpften.

Versuchsbehälter waren Petrischalen mit angefeuchteten Gipsböden, in denen die Tiere einzeln bei Zimmertemperatur im abgedunkelten Zustand gehalten wurden. Die Anzahl der untersuchten Tiere entspricht der in Tabelle 1 unter Summe 1980 angegebenen Zahl.

Ergebnisse:

Bei den Pergamasus-Arten fraßen nur Induviduen der drei größten Arten Eier und Maden. Die untersuchten Pachylaelaps-Arten fraßen keine Eier, kommen aber als Madenräuber in Frage. In der Gattung Parasitus gibt es Ei- und Madenräuber. Die Vageia-Arten und Cyrtolaelaps fraßen weder Eier noch Maden.

Von den zusätzlich untersuchten beiden Macrocheles Arten fraß M.vagabundus nur Maden, M.peniculatus hingegen zeigte von allen untersuchten Raubmilben die stärkste Ei- und Madenfraßtätigkeit.

III. 3 Futterpräferenzen im Wahlversuch

Da der obige Dipterenei- und Madenfraß nichts über die bevorzugte Beutenahrung aussagt, wurden im Wahlversuch mit mehreren Beutetieren die Futterpräferenzen von drei Arten aus unterschiedlichen Gattungen bestimmt.

Versuchsbeschreibung:

Fütterungstest	Hausfliegen	
	Eier	Larven
Pergamasus		
P. crassipes	+	++
P. septentrionales	+	++
P. quisquiliarum	+	++
P. diversus	-	-
Pachylaelaps		
P. pectinifer	-	?
P. magnus	-	+
Parasitus		
P. berlesei	+	++
P. coleoptratorum	++	++
P. fimetorum	-	?
P. islandicus	?	+
Vageia		
V. cerva	-	?

Tab. 2
Fütterungstest auf Hausfliegeneier und -larven

++ regelmäßig, + unregelmäßig,
- nicht, ? nicht geprüft

Die Ergebnisse wurden mit jeweils zwei Tieren in einer Petrischale mit angefeuchtetem Gipsboden bei fünfmaliger Wiederholung ermittelt. Die Versuchstemperatur war 15°C. Alle Beutetiere wurden in gleicher Menge (15 Exemplare) angeboten. Nach 24 Stunden wurde das Fraßergebnis kontrolliert.

Ergebnisse:

Die Durchschnittsergebnisse pro Tag und Raubmilbe sind in der Tabelle 3 zu sehen.

Parasitus coleoptratorum und Pergamasus crassipes bevorzugten unter den angebotenen Beutetieren die kleineren phytophagen Milben der Gattungen Proctolaelaps und Laesioseius, während Macrocheles peniculatus nur die angebotenen Hausfliegeneier fraß. Eine Beobachtung sei noch erwähnt: bei Parasitus coleoptratorum erhöhte sich die Eiablage nach Fütterung mit Dipterenlarven beträchtlich von 2 bis 3 Eiern pro Tag auf bis zu 3o Eier pro Tag.

III. 4 Wahlversuch Hausfliegeneier und Kohlfliegeneier

Da in den folgenden Versuchen hauptsächlich Hausfliegeneier und -maden wegen ihrer leichteren Beschaffung verwendet wurden, wurde untersucht, ob die Tiere unterschiedlich auf die Eier der im Ackerbau schädlichen Kohlfliege und der der Hausfliege reagieren.

Versuchsbeschreibung:

Die Versuchsbedingungen entsprachen denen des Futterpräferenzversuches. Es wurden Haus- und Kohlfliegeneier in gleicher Anzahl (15 Stück) angeboten.

Ergebnisse:

Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 zu sehen.

	P.coleoptr.	P.crassipes	M.peniculatus
Milben			
Laesioseius spec. Proctolaelaps spec.	9,3	6,4	—
Diptereneier			
Musca domestica	2,8	o,4	4,5
Collembolen			
Poduriden spec.	—	o,6	—

Tab. 3
Futterpräferenzen im Wahlversuch

Durchschnittliche Fraßrate pro Tier und Tag bei 15°C
fünf Wiederholungen mit je zwei Tieren

Es zeigt sich, daß Parasitus coleoptratorum nicht fähig ist, Kohlfliegeneier anzustechen und daher nur Hausfliegeneier fraß. Pergamasus crassipes und Macrocheles peniculatus nehmen im gleichen Maß Haus- und Kohlfliegeneier an.

Alle drei Arten fraßen auch die Maden der Haus- und Kohlfliege. Diese Beobachtungen wurden jedoch nicht weiter quantifiziert.

	Hausfliegen-eier	Kohlfliegen-eier
P.coleoptratorum	21	—
P.crassipes	13	10
M.peniculatus	26	31

Tab.4 Wahltest Hausfliegeneier,Kohlfliegeneier

IV. Untersuchungen zur ökologischen Anpassung

allgemeiner Hintergrund:

Bei den Felduntersuchungen wurden im Ackerboden keine Macrocheliden gefunden. Allerdings kommen sie vereinzelt im Ackerboden vor, wie W. Karg (1971) in umfangreichen Untersuchungen feststellte.

Ziel:

Die nachfolgenden Untersuchungen sollen nun für M.peniculatus die Frage beantworten, welche für das Ackerbiotop charakteristischen Bedingungen ihr Vorkommen im Ackerbiotop verhindern.

IV. A Die Auswirkung eines unterschiedlichen Nahrungsangebotes

IV. A 1 Populationsverläufe: Die Bedeutung von Dipterneneiern für das Überleben

Ziel:

Das Ziel der Untersuchungen war es, die Überlebensmöglichkeiten in einem lehmhaltigen Ackerboden mit unterschiedlichem organischen Material mit und ohne Dipterneneiern zu beobachten.

Versuchsbeschreibung:

Die Versuche wurden in Bodenwannen (Abb.3, S.18) mit einer Grundfläche von 35 x 6o cm durchgeführt. Es wurden sechs Systeme mit drei Varianten organischer Materialzugabe eingerichtet. Das organische Material waren Platanenblätter, Gras und Kohlblätter, jeweils im getrockneten Zustand. Ihr unterschiedliches C/N Verhältnis ließ eine unterschiedlich schnelle Abbaugeschwindigkeit erwarten. Von beiden Ansätzen jeder Variante wurde eine mit Raubmilben bestückt, während die andere als Kontrollansatz diente und im Rahmen anderer Analysen von Bedeutung war, im Zusammenhang mit obiger Fragestellung jedoch keine Rolle spielt und

deshalb in dieser Darstellung nicht weiter erwähnt wird.
Weitere methodische Einzelheiten, insbesondere die genaue Herstellung der Systeme, sind im Methodenteil eingehend beschrieben.

Versuchsverlauf:

Die erste Versuchsreihe begann in einer Klimakammer bei 25°C Raumtemperatur, der in etwa eine Bodentemperatur von 23°C entsprach. Die Belichtung war ein 12 zu 12 Stundentag. Nach 14 Wochen kamen die Varianten Gras und Platane in eine Klimakammer mit 15°C, während die Variante Kohl auf 21°C gestellt wurde.
Während der Periode der Diptereneifütterung wurden jeden zweiten Tag etwa 15o Hausfliegeneier zugefügt. Organisches Material wurde alle drei Wochen (Kohlvariante) oder alle sechs Wochen (Platane-, Grasvariante) neu hinzugefügt. Wöchentlich wurden aus den Systemen drei der zwölf Probeschalen (Abb.3) herausgenommen und die Anzahl der Macrocheliden bestimmt.

Ergebnisse:

Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 4 zu sehen. Zum Vergleich sind auch die Populationskurven von Pergamasus crassipes und septentrionales dargestellt. Macrocheles peniculatus reagierte bei einer Zugabe von Hausfliegeneiern (schwarzer Balken unter den Abbildungen) sofort mit einer starken Vermehrung. Dies zeigt sich sehr deutlich nach einer dreiwöchigen Pause der Eizugabe. Es fällt beim Verlauf der Populationskurven auf, daß der Anstieg regelmäßig nach dem Erreichen des Maximums in der folgenden Woche erfolgt.
Als weiteres zeigen die Kurven, daß Macrocheles auch längere Zeit ohne Diptereneier in den Systemen überleben kann. In allen Fällen konnte sie noch nach 3 Wochen, im Fall der Grasvariante sogar noch nach 7 Wochen nach der letzten Eifütterung in den

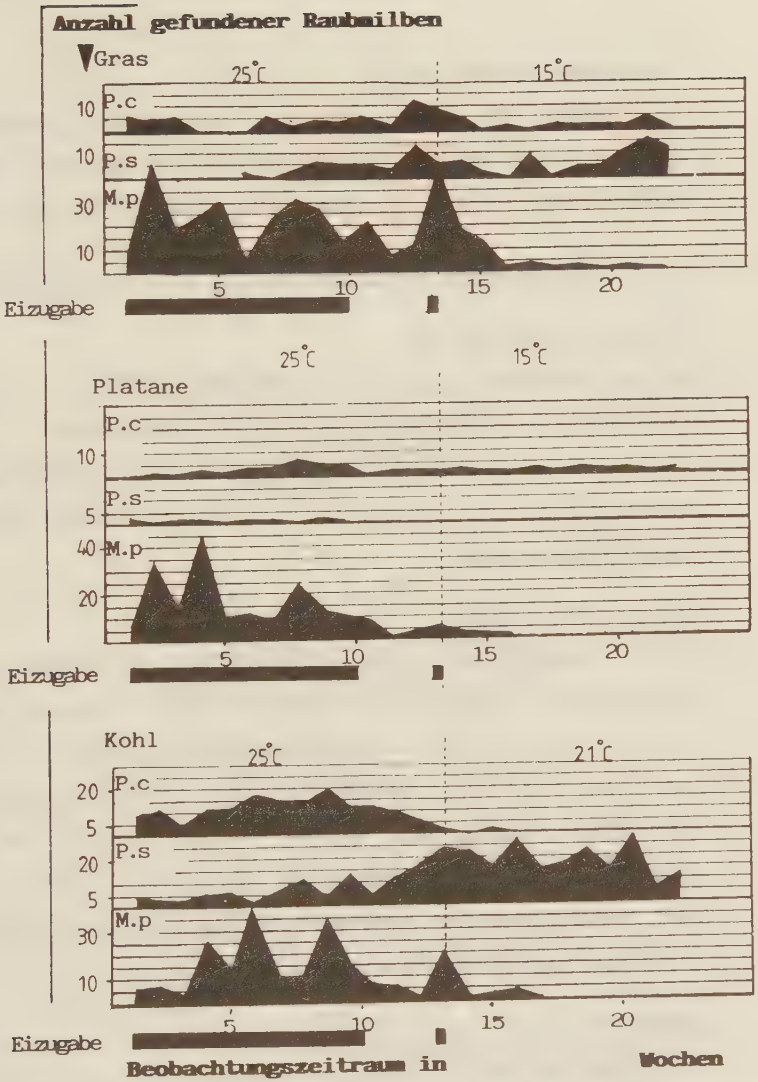


Abb.4 Populationsverlauf in experimentellen Ökosystemen mit und ohne Zugabe von Diptereneiern

M.p Macrocheles peniculatus, **P.c** Pergamasus crassipes
P.s Pergamasus septentrionales

Bodenproben gefunden werden.

Das Ergebnis muß auch unter dem Gesichtspunkt gesehen werden, daß die Tiere ohne Schwierigkeiten aus den Systemen hätten auswandern können und auch teilweise dabei beobachtet wurden.

IV. A 2 Die Auswirkung karger Futterverhältnisse auf Such- und Fraßaktivität

allgemeiner Hintergrund:

Da der Ackerboden nicht das natürliche Habitat für Macrocheles ist und es im angestammten Habitat von M.peniculatus, in kompostartigen Böden, sicherlich günstigere Nahrungsbedingungen als im Ackerboden gibt, untersuchte ich die Eifraßrate unter kargen Futterverhältnissen.

Versuchsbeschreibung:

Die Versuchsbehälter waren Petrischalen (Grundfläche 55 cm^2) mit dreifach höherem Rand als üblich. Die lehmartige Gartenerde (7o gr), die ein bis zwei Monate trocken gelagert worden war, hatte eine mittlere Korngröße von 5,5 mm Ø. In jede Schale wurden vier Tiere gesetzt. Sie bekamen täglich 8 Eier. Die Versuche wurden bei zwei Temperaturstufen, bei 15°C und bei 21°C, mit fünf Parallelversuchen durchgeführt. Die Anzahl der gefressenen Eier wurde nach 6 Stunden ermittelt.

Ergebnisse:

Die Ergebnisse zeigt Tabelle 5.

Oft wurden in den ersten sechs Stunden alle acht Eier gefunden und gefressen. Im Durchschnitt waren es über alle Fütterungstage bei 15°C 43 % und bei 21°C 47 %, die in den ersten sechs Stunden gefressen wurden. Hungerperioden von zwei Tagen zeigten keine Änderung der Freßrate. Nur bei einer Hungerperiode von fünf Tagen und damit sicherlich auch bei längeren Hungerperioden,

No	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	Tag
21°C Einzelergebnisse																
1	6	0	0	8	3			6						0	0	
2	3	8	0	0	8	ohne		7		ohne				0	0	
3	0	8	0	6	5	Eier		6		Eier				2	0	
4	3	0	0	8	8			5						4	0	
5	4	6	8	6	8			8						2	6	
Summe	16	24	8	28	32			32						8	6	
15°C Einzelergebnisse																
1	8	4	4	0	0			5						4	5	
2	0	2	8	7	7	ohne		5		ohne				8	0	
3	0	0	0	0	0	Eier		0		Eier				0	0	
4	0	5	4	0	8			1						0	8	
5	8	8	6	5	8			5						0	5	
Summe	16	19	22	12	23			16						12	18	

——— **Zahl täglich gefressener Eier** ———

Tab.5 Die Auswirkung karger Futterbedingungen auf die Suchaktivität

pro Versuchsgefäß (Petrischale) : vier Tiere, täglich 8 Hausfliegeneier angeboten - Grundfläche 55 cm^2 - Bodentiefe 3 cm - Fraßergebnisse nach 6 Std. protokolliert -

zeigte sich bei 21°C ein Abfall der Fraßaktivität.

Erwähnt werden sollte, daß auch unter diesen kargen Bedingungen junge Larven und Nymphen beobachtet wurden. Am Ende des Versuches konnten sie allerdings bei der Berlesebodenanalyse nicht wiedergefunden werden. Wahrscheinlich starben sie während der längeren Hungerperiode oder/und wurden von den Adulten gefressen.

IV. B Die Auswirkung unterschiedlicher Feuchtigkeitsstufen

allgemeiner Hintergrund:

Da gerade im Ackerboden die obere Bodenschicht durch starke periodische Feuchtigkeitsschwankungen gekennzeichnet ist, die für das Verhalten von Bedeutung sein können, (G. Vannier, 197o), untersuchte ich den möglichen Einfluß der Bodenfeuchtigkeit auf die Eifraß- und Vermehrungsrate.

IV. B 1 die Such- und Fraßaktivität

Versuchsbeschreibung:

Das Versuchsgefäß war bei diesen Versuchen eine Gefrierdose mit der Grundfläche 1o x 2o cm. Es wurden 4oo gr lehmhaltige Gartenerde, die wie im zuvor beschriebenen Versuch über mehrere Monate trocken gelagert worden war, in die Gefäße gefüllt. Die mittlere Korngröße war 5,5 mm. Die Versuchstemperatur war 21°C. In jedes Gefäß wurden 1o adulte Tiere gesetzt und drei Gelege mit jeweils 1o Eiern bestückt. Pro Feuchtigkeitsstufe wurden vier Wiederholungen vorgenommen. Die gefressenen Eier wurden nach sechs Stunden gezählt.

Ergebnisse:

Das Ergebnis gibt Abbildung 5 wieder.

Bei 1o % der maximalen Wassertragfähigkeit des Bodens lag die

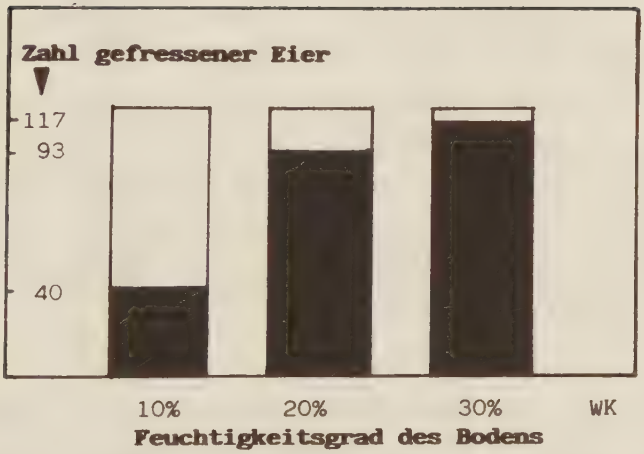


Abb.5 Einfluß der Feuchtigkeit auf die Suchaktivität

WK = Wasserkapazität (maximale Wassertragfähigkeit)

Temperatur 21°C - Suchfläche 200cm² - Bodentiefe 4.5cm - pro Gefäß: 10 Tiere, 2 Gelege mit 10 Eier - nach 6 Std. Zahl der gefressenen Eier protokolliert - pro Feuchtigkeitsstufe 12 Werte -
statistische Auswertung: Rangsummentest (Wilcoxon Test) beide Vergleiche 1o % gegen 2o % WK und 2o % gegen 3o % auf dem 5 % Niveau signifikant

Fraßrate in sechs Stunden nur noch bei einem Drittel des Wertes, der bei der Feuchtigkeitsstufe von 3o % WK gefunden wurde, bei der in sechs Stunden alle angebotenen Eier gefressen wurden. Zum Versuch 1o % WK bleibt noch anzumerken, daß auch hier alle Tiere die vier Versuchstage überlebten.

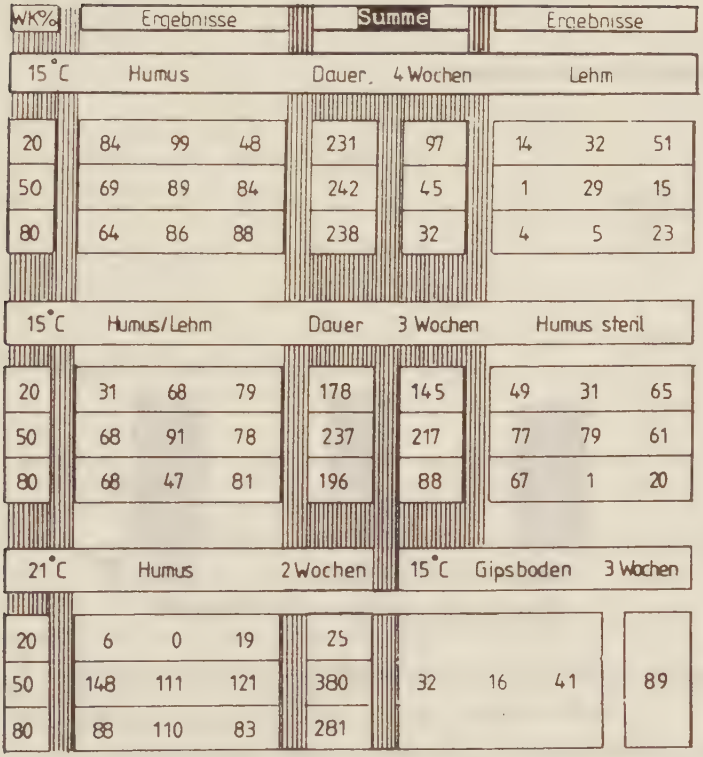
IV. B 2 die Vermehrungsrate

Versuchsbeschreibung:

Die Versuchsbehälter waren Petrischalen, deren Deckel zwei kleine Belüftungsöffnungen hatten, die mit einer feinen Gaze verschlossen waren. Die Bodenfeuchtigkeit wurde alle drei Tage über eine Gewichtsbestimmung reguliert. Die Versuche wurden bei 15°C und 21°C mit insgesamt 5 x 3 Wiederholungen (verschiedenen Bodenansätzen) durchgeführt. Drei Feuchtigkeitsstufen wurden untersucht. In jede Petrischale kamen fünf adulte Tiere. Die täglich zugeführte Eimenge wurde volumenmäßig bestimmt.

Versuchsgefäße:

Das nicht nach den Versuchsparametern getrennte Ergebnis findet man in Tabelle 6. Analysiert nach den drei Feuchtigkeitsstufen ergibt sich das Bild der Abbildung 6. Es besteht eine geringe Bevorzugung einer mittleren Feuchtigkeitsstufe von 5o % der maximalen Wassertragfähigkeit. Dieses Ergebnis ist in allen Bodenansätzen, außer in der reinen Lehmvariante, wiederzufinden. Der Versuch bei 21°C hat bei 2o % WK einen deutlich geringeren Wert als die beiden anderen Feuchtigkeitsstufen. Dieser starke Unterschied zeigt, da die tatsächliche Feuchtigkeit regelmäßig tiefer lag und bei 21°C der Boden schneller austrocknete, daß möglicherweise unter 2o % WK eine kritische Schwelle für die Vermehrung liegt.



WK%	Ergebnisse			Summe		Ergebnisse		
15°C	Humus			Dauer 4 Wochen		Lehm		
20	84	99	48	231	97	14	32	51
50	69	89	84	242	45	1	29	15
80	64	86	88	238	32	4	5	23
15°C	Humus/Lehm			Dauer 3 Wochen		Humus steril		
20	31	68	79	178	145	49	31	65
50	68	91	78	237	217	77	79	61
80	68	47	81	196	88	67	1	20
21°C	Humus			2 Wochen	15°C	Gipsboden		3 Wochen
20	6	0	19	25				
50	148	111	121	380	32	16	41	89
80	88	110	83	281				

Tab. 6
Einfluß der Bodenfeuchtigkeit (WK) und der Bodenart auf die Vermehrung von M.peniculatus

Jedes Einzelergebnis $\frac{\quad}{\quad}$ gibt die Zahl der Nachkommen von 5 M.peniculatus an.

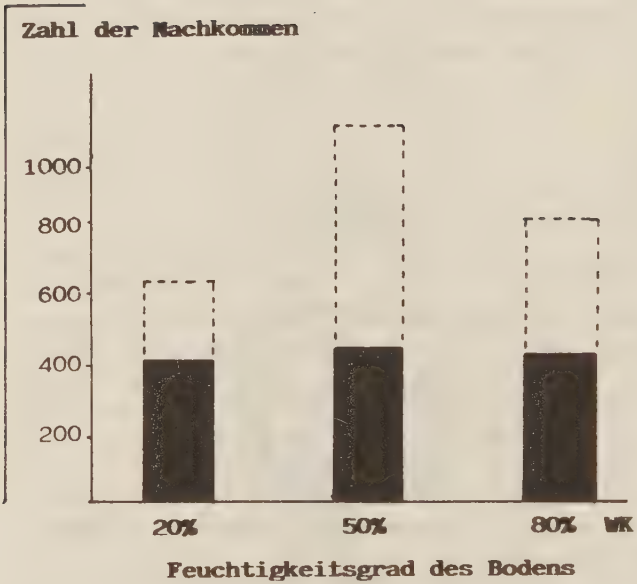


Abb.6 Der Einfluß der Feuchtigkeit auf die Vermehrung

WK Wasserkapazität (maximale Wassertragfähigkeit)
■ Versuche mit genauem Einhalten der Feuchtigkeitsgrenzwerte
┌ ┐ Versuche gesamt (mit Versuchen, die versuchsbedingt die Feuchtigkeitsgrenzwerte überschritten)

pro Versuchsgefäß (Petrischalen) 5 Tiere - verschiedene Versuchsreihen mit unterschiedlichen Böden
Einzelwerte s. Tabelle 6 -
statistische Auswertung: Rangsummentest
H_o: 50% WK Werte = 20% WK, 80% WK Werte
■ Werte auf dem 10% Niveau nicht signifikant
┌ ┐ Werte sind auf dem 5% Niveau signifikant

Ein anderer Unterschied, der bei den einzelnen Ergebnissen in Tabelle 6 zu sehen ist, liegt bei 8o % WK des sterilisierten Humus. Der Grund für das auffallend geringere Ergebnis ist eine Strukturänderung des Humus durch das Erhitzen, so daß er nicht mehr in dem Maße das Wasser aufnahm, wie es der unbehandelte Humus tat. Die Tiere waren ganz offensichtlich durch das nicht vollkommen aufgenommene Wasser behindert.

Insgesamt zeigen beide Versuche, daß ein Über/Unterschreiten der Versuchsgrenzwerte in beiden Fällen zu einer verminderten Vermehrung führt.

IV. C Die Auswirkung von Temperaturänderungen

allgemein:

Gerade der Ackerboden ist wegen der fehlenden Streuschicht besonders starken Temperaturschwankungen ausgesetzt. Tiere, die in einem solchen Biotop überleben wollen, müssen eine hohe Toleranz gegenüber solchen Temperaturänderungen entwickeln.

Die Fraßaktivität und die Eilegerate als Parameter für ethnologisches und physiologisches Verhalten wurden in einem cyclischen Temperaturexperiment gleichzeitig untersucht.

IV. C 1 die Such- und Fraßaktivität

Versuchsbeschreibung:

Die Versuchsgefäße waren Petrischalen mit angefeuchtetem Gipsboden. Die Tiere wurden einzeln in die Schalen gesetzt. Insgesamt wurden 2o Tiere beobachtet. Es wurden vier Temperaturstufen untersucht: 15°C, 21°C, 25°C und 3o°C. Die Tiere wurden nach dem Temperaturwechsel drei Tage bei konstanten Temperaturen gehalten und das Ergebnis des ersten Tages mit dem der folgenden

Tage verglichen. Die Temperaturänderungen entsprechen den Temperaturdifferenzen im untersuchten Temperaturbereich. Die drei möglichen Temperatursprünge von drei Temperaturstufen zur jeweils vierten wurden mit je fünf Tieren durchgeführt. Es wurden stets 3o Hausfliegeneier pro Tag angeboten. Untersucht wurde das Fraßergebnis nach sechs Stunden und nach 24 Stunden.

Ergebnis:

Abbildung 7 zeigt das Fraßergebnis für den ersten Tag nach dem Temperaturwechsel sowie das Ergebnis für die beiden weiteren Tage. Es stammt aus den 6-Stunden-Ergebnissen. Das 24-Stunden-Ergebnis unterschied sich nur etwas in der Anzahl der gefressenen Eier, zeigte aber ebenso wie das 6-Stunden-Ergebnis keine Auswirkung des Temperaturwechsels.

Als Ergebnis bleibt festzustellen, daß die Temperaturänderung keine Auswirkung auf das Fraßverhalten zeigt.

IV.C 2 **die Anzahl gelegter Eier**

Versuchsbeschreibung:

Die Ergebnisse für diesen Versuch wurden zusammen mit der Fraßrate des zuvor beschriebenen Versuches ermittelt. Die Versuchsausführung ist daher auch schon dort beschrieben.

Ergebnis:

Abbildung 8 zeigt die Anzahl der gelegten Eier für den ersten Tag nach dem Temperaturwechsel und für die beiden weiteren Tage im Vergleich. Auch hier ergaben sich keine Unterschiede auf die Eizahl nach dem Temperaturwechsel und nach der Akklimatisierung.

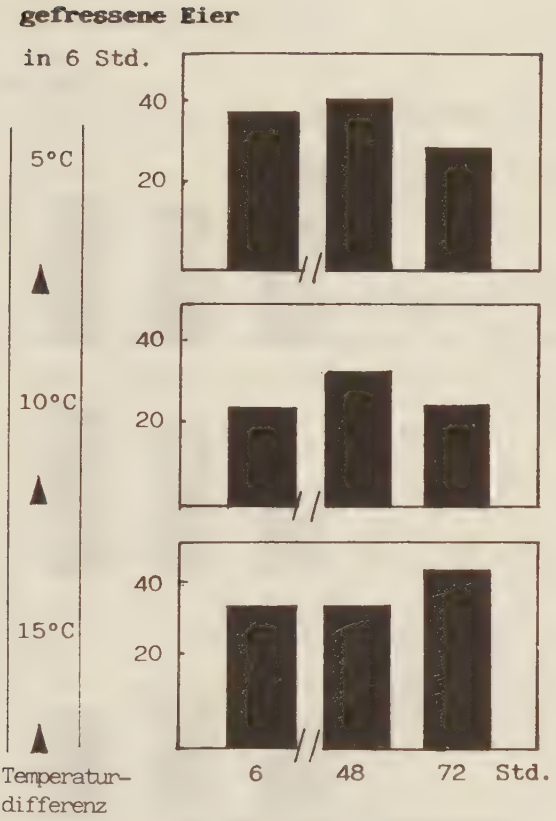


Abb.7 Wirkung von Temperatursprüngen auf die Zahl gefressener Eier

Die dargestellten Werte sind Summenwerte von 10 Tieren. Sie stellen nur einen Teil der durchgeführten Temperatursprünge dar, die aber ebenfalls keine Wirkung auf die Fraßaktivität erkennen ließen.
Versuchsgefäße: Petrischalen - Tiere einzeln gehalten -
statistische Auswertung: Über alle Temperatursprünge:
Hypothese: Temperaturwirkung erkennbar: 10 ja; 35 nein; 15 falsch

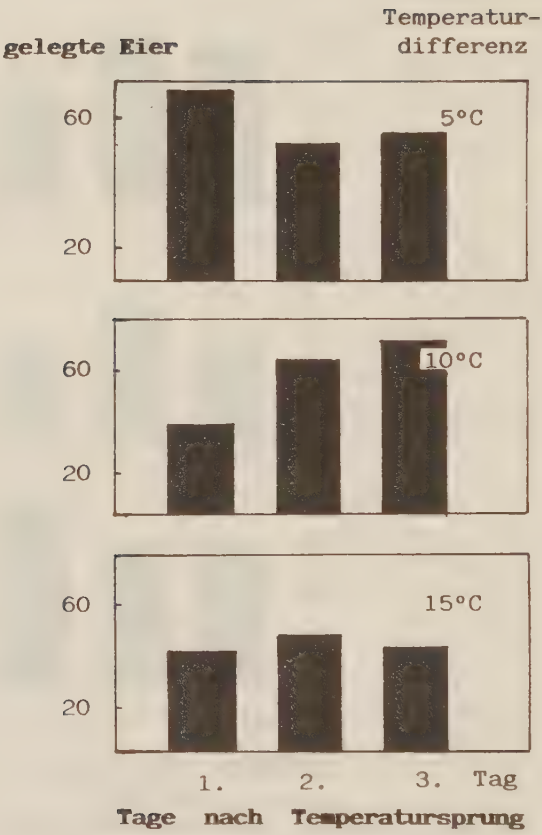


Abb.8 Wirkung von Temperatursprüngen auf die Eilegerate

Die dargestellten Werte sind Summenwerte von 10 Tieren.
Versuchsgefäße: Petrischalen - Tiere einzeln gehalten -
statistische Auswertung:
Hypothese: Temperaturwirkung auf Eilegerate erkennbar: - 21 ja - 25 nein - 14 falsch-

IV. D Die Bedeutung unterschiedlichen Humusgehalts

allgemeine Zielsetzung:

Zur Klärung, warum ein Tier in einem bestimmten Biotop nicht vorkommt, sind nicht nur die hemmenden Einflüsse des fremden Biotops zu untersuchen, sondern auch die fördernden des angestammten Biotops.

Die Frage war nun, ob es außer dem sicherlich besseren Nahrungsangebot noch andere Faktoren gibt, die für das Vorkommen von M.peniculatus im humusreichen Boden verantwortlich sind.

IV. D 1 das aktive Wahlverhalten

allgemeiner Hintergrund:

Da Milben und auch Macrocheliden (Hirschmann, 1966), oft andere Tiere benutzen, um zu ihrem Biotop zu gelangen, war es möglich, daß M.peniculatus kein aktives Orientierungsverhalten für ihr spezifisches Biotop entwickelt hatte. Untersucht wurde, ob M.peniculatus aktiv bestimmte Bodentypen aufsucht, und ob dabei der Humusgehalt eine wesentliche Rolle spielt.

IV. D 1 a. ohne Dipterenei er

Versuchsbeschreibung:

Das Versuchsgefäß war eine verschließbare Plastikschale von 3o x 3o cm Grundfläche. In sie wurden würfelförmige Körbchen aus weitmaschigem Drahtgeflecht (1,5 mm Maschenweite) mit verschiedenen Humus/Lehmgemischen, in der in Abbildung 9a zu sehenden Verteilung gestellt. Jedem Gemisch wurde anteilig die Wassermenge zugesetzt, die sich aus einer 5o % maximalen Wassertragfähigkeit der beiden Ausgangssubstrate ergab. Der Versuch wurde bei Zimmertemperatur durchgeführt. Es wurden 6o adulte M.peniculatus gleich-

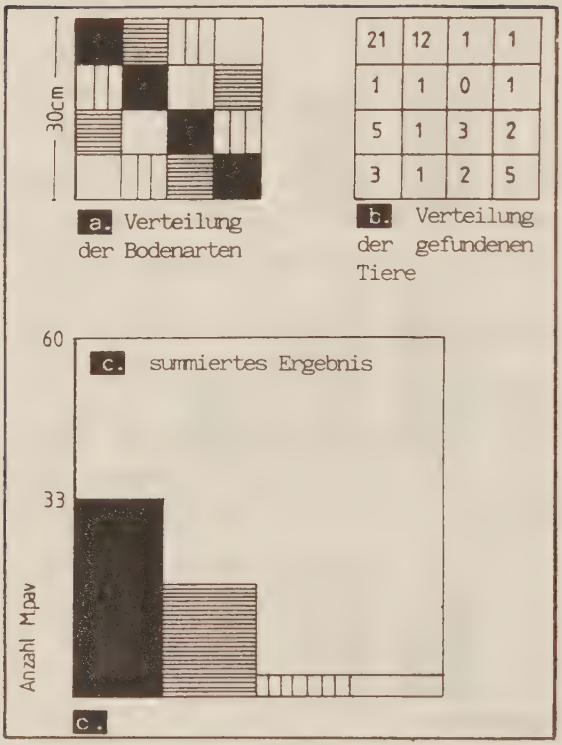


Abb.9 Bodenpräferenz von M.peniculatus in einem Lehm-Humus-Gradienten ohne Diptereneier

a. Versuchsanordnung, Verteilung der Bodenarten b. Verteilung der gefundenen Tiere
c. summiertes Ergebnis
100% Humus 70% Humus, 30% Lehm
30% Humus, 70% Lehm 100% Lehm
statistische Auswertung: Rangsummentest
Hypothese: Humus, Humus-Lehm gleich Lehm, Lehm-Humus : P(z) = 0.942

mäßig verteilt in den Behälter gesetzt und nach 24 Stunden ihre Verteilung bestimmt. Der Versuch wurde nur einmal durchgeführt, weil die Anordnung der Versuchsfelder eine multiple Analyse ermöglicht.

Versuchsergebnis:

Die gefundene Verteilung der Milben ist in Abbildung 9 b zu sehen. Selbst bei Fortlassung der obersten Reihe in Abbildung 9 b, weil ein gewisser Rand/Ecken-Effekt sichtbar ist, ergibt sich noch eine Bevorzugung humusreicher Böden in der Verteilung 9:8:4:4. Die abfallende Folge der Verteilung läßt sich in allen Reihen -gleichgültig, ob man sie in waagerechter oder senkrechter Richtung analysiert- wiederfinden und wird durch das Gesamtergebnis (Abb.9 c) nochmals bestätigt.

IV. D 1 b. mit Dipterenei ern

allgemeiner Hintergrund:

Dieser Versuch gehörte eigentlich noch zu den Vorversuchen und hatte das Ziel, den günstigsten Bodentyp für eine Zucht zu ermitteln. Er wird an dieser Stelle beschrieben, weil er demonstriert, daß Dipterenei er als Futter allein nicht das Vorkommen in einem Bodentyp erklären können.

Versuchsbeschreibung:

In einer Plastikwanne wurden Schalen zu einem Ring angeordnet und die Zwischenräume mit einer Gipsmasse aufgefüllt. Vier verschiedene Humus/Lehmgemische hatte die in Abbildung lo a zu sehende Verteilung. Die Feuchtigkeit konnte nur nach Augenmaß mit einem Stück Filterpapier beurteilt werden, da die Gefäße nur schlecht zur Gewichtsbestimmung aus der Schüssel herausgenommen

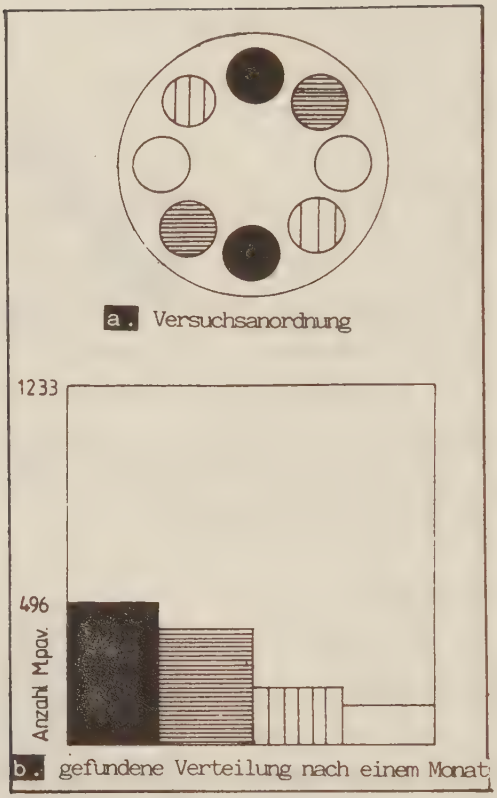


Abb.10 Bodenpräferenz von M.peniculatus in einem Lehm-Humus-Gradienten bei gleichmäßiger Verteilung von Diptereneiern

100% Humus, 70% Humus, 30% Lehm
30% Humus, 70% Lehm 100% Lehm
statistische Auswertung: Rangsummentest
Nullhypothese: Humus, Humus-Lehm gleich Lehm, Lehm-Humus:
Hypothese: Humus Werte ungleich Lehm Werte signifikant auf dem 5% Niveau

werden konnten. Die Versuche wurden bei Zimmertemperatur in zweifacher Ausführung einen Monat lang durchgeführt. In jeden Ansatz wurden 20 Tiere gesetzt und die Hauffliegeneier täglich gleichmäßig über die einzelnen Schalen gestreut. Zur Unterbindung des Auswanderns aus der Schale wurde Vaseline am oberen Rand aufgetragen. Dies konnte ein Auswandern der Tiere jedoch nicht verhindern. Auch eine über den Rand gelegte Glasscheibe schloß nicht fest und dicht ab.

Ergebnisse:

Die Abbildung 10 b zeigt die Verteilung der Tiere, wie sie nach einem Monat in der Schale gefunden wurde. Trotz Eizugabe zeigt sich auch hier ein konturenreicher Abfall der Aufenthaltsbevorzugung humusärmerer Böden.

IV. D 2 Die Bedeutung des Humusgehalts für die Vermehrung

Versuchsbeschreibung:

In diesem Versuch wurde gleichzeitig auch der Parameter Feuchtigkeit mituntersucht. Da der Versuch bereits in IV. B besprochen wurde, sind dort auch die methodischen Einzelheiten zu finden.

Ergebnis:

Das Ergebnis zeigen die Tabelle 6, Seite 39, und die Abbildung 11. Die Vermehrungsrate war im reinen Humus um mehr als das Vierfache höher als im Lehmboden (Abb. 11 a).

Zur Klärung dieses Ergebnisses wurde ein weiterer Versuch durchgeführt: eine Versuchsreihe mit einem Humus/Lehmgemisch sowie eine weitere mit sterilisiertem Humus und eine mit bloßem Gips/Aktivkohle-Boden (Abb. 11 b).

Obwohl diese Versuchsserie nur drei und nicht, wie im obigen Versuch,

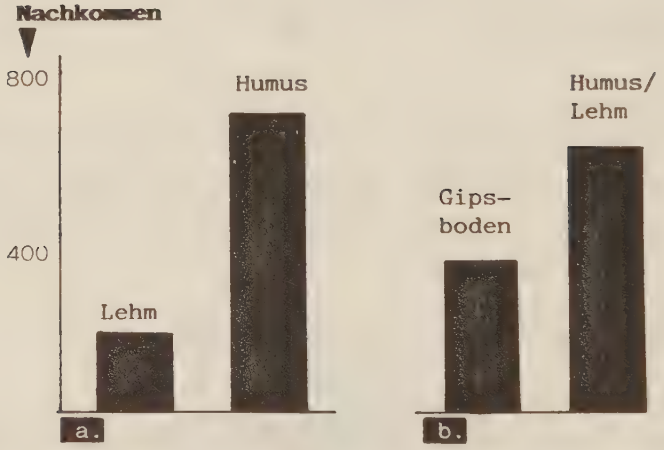


Abb.11 Die Bedeutung unterschiedlicher Böden für die Vermehrung

a. Versuchsdauer vier Wochen b. Versuchsdauer drei Wochen, andere Population
pro Versuchsgefäß (Petrischale) fünf Tiere - neun Wiederholungen - Versuch mit Gipsboden nur drei Wiederholungen, Ergebnis auf neun hochgerechnet- Einzelwerte s. Tab.6
statistische Auswertung: Rangsummentest
Unterschied zwischen Humus und Lehm auf dem 1% Niveau signifikant -

vier Wochen dauerte, sind die Werte des Humus/Lehmgemisches fast so hoch wie die im reinen Humus. Der sterilisierte Humus zeigt einen geringeren Wert, was aber hauptsächlich auf die Versuchsreihe mit 8o % WK zurückzuführen ist, wie ein Blick auf die Tabelle zeigt. Durch das Sterilisieren war der Humus nicht mehr im gleichen Maße wasseraufnahmefähig, und die nicht aufgesaugten Wassertropfen behinderten die Tiere in ihrer freien Bewegung. Die geringere Vermehrungsrate beim sterilisierten Humus ist also kaum als eine direkte Folge des geringen Mikrobenbesatzes erklärbar, der bei einer täglichen Fütterung mit unbehandelten Eiern auch gar nicht über längere Zeit aufrecht zu halten war.

V. Zur Suchleistung in lehmhaltiger Erde

allgemein:

Die Suchleistung wird definiert als die gefundene Fraßleistung in Prozent der maximal möglichen Fraßleistung. Die maximale Fraßleistung wurde im folgenden Petrischalenversuch für jede Temperatur ermittelt.

V. A Versuch zur Norminierung der Suchleistung

V. A 1 Die Fraßleistung bei vier Temperaturen

Versuchsbeschreibung:

Zusammen mit der Untersuchung über den Einfluß von Temperaturänderungen (s. IV. C) wurden auch Fraßergebnisse unter konstanten Temperaturen erhalten. Es wurden vier Temperaturen untersucht. Auf jeder Temperaturstufe wurden 2o einzeln gehaltene Tiere über drei Tage beobachtet. Der erste Tag diente der Akklimatisierung. Obwohl die Fraßergebnisse des ersten Tages sich nicht von denen der beiden nächsten Tage unterschieden, wurde der erste Tag nicht für die vorliegenden Ergebnisse verwendet.

Jedes Tier bekam täglich 3o Hausfliegeneier. Das Fraßergebnis wurde nach 6 Stunden und nach 24 Stunden protokolliert. Dazu bleibt festzustellen, daß das 24-Stunden-Ergebnis ein Mischergebnis von gefressenen Eiern und Larven ist, da, insbesondere bei den höchsten Temperaturen, oft über die Hälfte der Eier geschlüpft waren.

Ergebnis:

Die Abbildung 12 zeigt die Anzahl der pro Tag von einem Tier durchschnittlich gefressenen Eier, sowohl umgerechnet nach dem 6-Stunden-Ergebnis (nur Eier) als auch nach dem 24-Stunden-Ergebnis

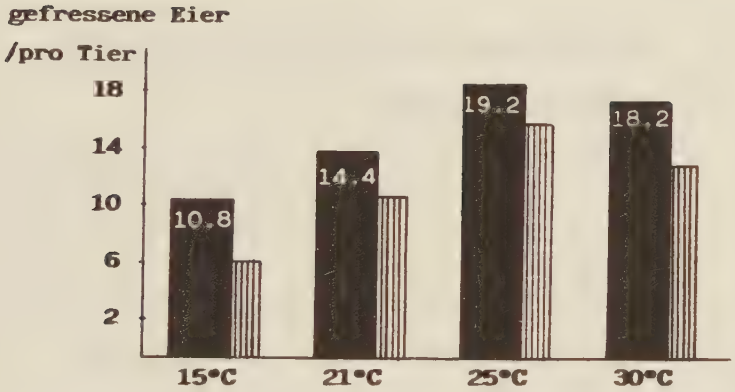


Abb.12 Tägliche Eifraßleistung in Abhängigkeit von der Temperatur

■ gefressene Eier nach 6 Stunden |||||| gefressene Eier und Larven nach 24 Stunden - Insbesondere bei 25°C und 30°C sind die Ergebnisse des 24 Stundenschnitts Mischergebnisse aus Eiern und Larven. Der geringere Wert des 24 Stundenschnitts kann auch eine Folge der geringeren Beutedichte sein, da er auch beim 24 Stundenwert von 15°C auftrat, bei dem auch nach 24 Stunden nur Eier vorhanden waren.
Tiere einzeln in Petrischalen gehalten - 30 Einzelwerte pro Temperaturstufe -
statistische Auswertung: einfache Varianzanalyse
paarweise Analyse der benachbarten Werte : bis auf das Paar 25°C /30°C mit P(F) = 0,853 konnten alle Werte auf dem 5% Niveau unterschieden werden.

(Eier und Larven).

Für	15°C	1o,8	Eier
"	21°C	14,4	Eier
"	25°C	19,2	Eier
"	3o°C	18,2	Eier.

V. B Suchleistung in unterschiedlich großen Sucharealen

allgemeine Überlegungen:

In den folgenden Versuchen wird die Suchleistung von M.peniculatus mit der von P.septentrionales verglichen. Der Gedanke war, daß, wenn M.peniculatus eine für das Ackerbiotop ungünstige Suchstrategie hat, sich mit der Vergrößerung des Suchareals ein stärkerer Abfall der Suchleistung ergeben müßte als dies bei einem im Ackerbiotop vorhandenen Tier der Fall ist.

V. B 1 Die Suchleistung in einem experimentellen Ökosystem

Versuchsbeschreibung:

Der Versuch wurde in einer mit Gaze verschließbaren Plastikwanne von der Grundfläche 35 x 6o cm (o,21 m²) durchgeführt. Die Versuchstemperatur war 15°C. Die Erde war getrocknete, lehmhaltige Gartenerde, die fünf Zentimeter hoch aufgetragen wurde und der 1o gr getrocknetes Gras beigemengt wurden. Desweiteren kamen noch mehr als 2oo kleinere Collembolen hinzu. Es wurden 4o M.peniculatus und 4o P.septentrionales eingesetzt. Hausfliegeneier zu je zwei getrennten Gelegen mit 1o Eiern wurden an vier Stellen (s.Abb. 13) unter Erdkrumen ausgelegt. Täglich wurden die Eier erneuert und die gefressenen gezählt. Beim Zählen unterschied ich zwischen leeren Eihüllen und abhandengekommenen Eiern, denn ich hatte bei anderen Untersuchungen festgestellt,

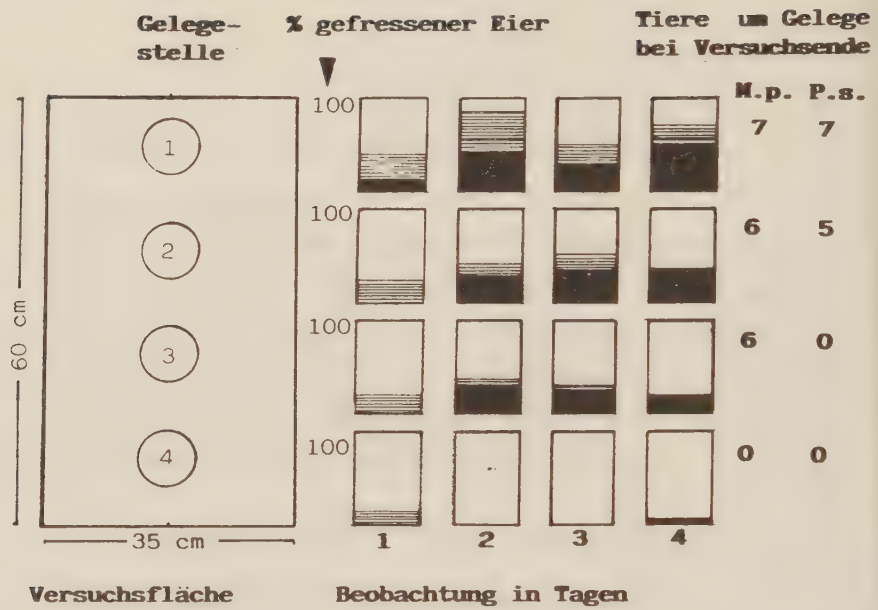


Abb.13 Direkter Vergleich der Suchleistung von M.peniculatus mit P.septentrionales in einem experimentellem Ökosystem

gesamt angebotene Eimenge (20Eier) ■ von M.pen. gefressener Anteil, ≡ von P.septentrionales gefressener Anteil
15°C - 40 Tiere von jeder Art auf 2100 cm² -
statistische Auswertung: Rangsummentest (Wilcoxon-Test): Unterschiede auf dem 5% Niveau signifikant -

daß Pergamasus septentrionales in den meisten Fällen (über 95 %) die Eier von der Futterstelle fortträgt, während sie M.peniculatus an Ort und Stelle aussaugt.

Nach dem fünften Tag wurde die Erde um die Gelegestellen sowie an Kontrollstellen auf ihre Anzahl von Tieren hin im Berlese-apparat untersucht.

Ergebnisse:

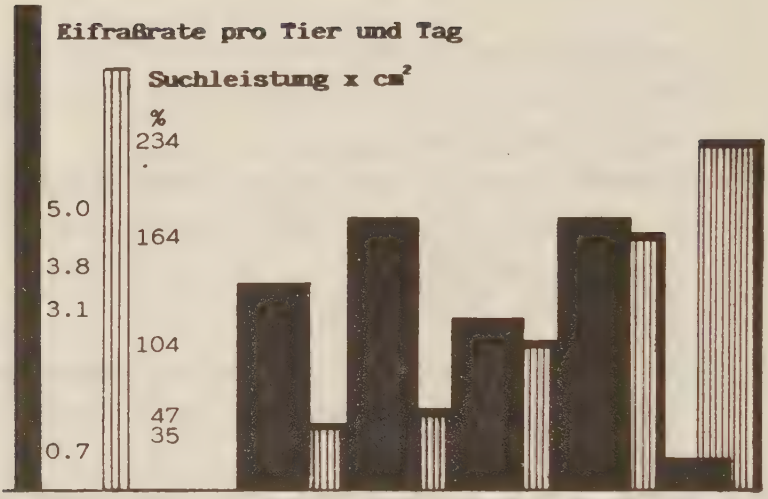
In Abbildung 13 sind die von beiden Arten täglich gefressenen Eier in Prozent der ausgelegten Eier (2o pro Gelegestelle) dargestellt.

Dieser direkte Vergleich zeigt, daß M.peniculatus unter den gleichen Bedingungen mehr Eier frißt als P.septentrionales. Insgesamt fraß M.peniculatus, über alle vier Versuchstage summiert, 33 % der angebotenen Eimenge, das sind 1o6 Eier von 32o Eiern, während P.septentrionales nur 13 % fraß, das sind 42 Eier.

Die Zahlen in der Abbildung 13 rechts zeigen die am fünften Tag an den Gelegestellen gefundenen Tiere. Insgesamt fanden sich von den eingesetzten Tieren 19 M.peniculatus und 12 P.septentrionales wieder. Das sind 47,5 bzw. 3o % aller Tiere.

Da die Probeentnahmeflächen um die Gelegestellen nur knapp 1o % ausmachen, wären bei einer Gleichverteilung etwa 4 Tiere zu erwarten gewesen.

Bei einer gleichgroßen Kontrollprobe wurden 5 Macrocheliden und 6 Pergamasi gefunden.



Grundfläche	cm^2	**55**	**55**	**200**	**200**	**2100**
Tiefe	cm	3	6	2	5	5
Erdmenge	g	70	140	140	400	Ökosyst.

Abb.14 Die Suchleistung in lehmhaltiger Gartenerde mit unterschiedlicher Grundfläche und Tiefe

■ durchschnittliche tägliche Eifraßrate pro Tier

||||| Suchleistung x cm^2, normiert auf die tägliche Eifraßleistung von 10.8 Eiern bei einer Grundfläche von 55 cm^2 (Petrischalen)

Zum Vergleich wurde noch das Ergebnis des experimentellen Ökosystems mit einer Grundfläche von 2100 cm^2 dargestellt.- 15°C - 5 Ansätze mit je vier Tieren - 4 Wiederholungen - täglich 8 Hausfliegeneier pro Ansatz gefüttert - Fraßergebnisse nach 6 Stunden kontrolliert -

statistische Auswertung: Rangsummentest (U-Test): Unterschiede der Eifraßrate bei verschieden großen Sucharealen auf dem 5% Niveau nicht signifikant - (Ökosystem ausgenommen)

V. B 2 Die Suchleistung in Abhängigkeit von Grundfläche und Tiefe des Bodens

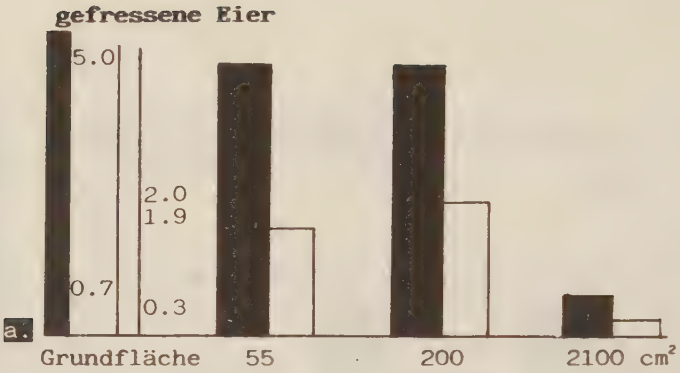
V. B 2 a. Die Suchleistung von M.peniculatus bei 15°C

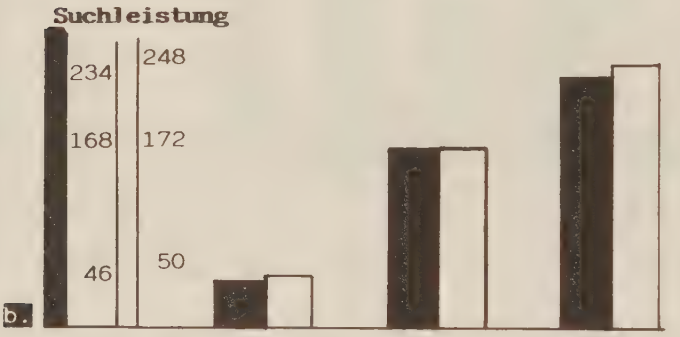
Versuchsbeschreibung:

Gefäße mit unterschiedlicher Grundfläche (Petrischalen mit dreifach erhöhtem Rand, 55 cm^2, und Gefrierdosen, 2oo cm^2) wurden auf unterschiedliche Höhen mit Erde der Partikelgröße von 5,5 mm aufgefüllt. Die Partikelgröße wurde so groß gewählt, um den Tieren auch ein Suchen in tieferen Schichten zu ermöglichen. Vier Tiere kamen in jedes Gefäß. Täglich wurden 8 Eier gefüttert und die Fraßzahlen nach 6 Stunden kontrolliert. Von jedem Versuch wurden 5 parallele Ansätze über vier Tage beobachtet.

Ergebnis:

Die pro Tier ermittelte Suchleistung ist in Abbildung 14 zu sehen. Jeder Wert ist der Durchschnittswert von 2o Einzelwerten. Die statistische Auswertung ergab, daß bei allen Versuchen (55 cm^2, 2oo cm^2) die Eifraßrate als gleich zu betrachten ist. Allerdings zeigt die Eifraßrate im experimentellen Ökosystem, daß ab einer Grundfläche, die größer als 2oo cm^2 sein muß, weniger Eier gefunden und gefressen werden. Der Abfall der Eifraßrate ist also nicht direkt proportional zur Grundfläche. Dies zeigt insbesondere die auf 55 cm^2 bezogene, relative Suchleistung. Sie steigt überproportional an und beträgt im experimentellen Ökosystem mehr als das 2,3-fache der in Petrischalen mit glattem Gipsboden gefundenen.





Grundfläche	55	200	2100 cm²
Tiefe	6	5	5 cm
Erdmenge	140	400	Ökosyst. g

Abb.15 Vergleich der Eifraßrate und der Suchleistung von M.pen. mit P.sept. in Abhängigkeit von der Größe des Suchareals

■ M.pen. | | P.sept. a. Vergleich der täglichen Eifraßrate pro Tier b. Vergleich der Suchleistung x cm² Zur Bestimmung der Suchleistung wurde für P.sept. eine standartisierte Fraßleistung von vier Eiern pro Tag zugrundegelegt.
Versuchsbedingungen: - 15°C - Grundfläche 55cm², 200cm²: vier Tiere pro Ansatz - täglich acht Eier gefüttert - Fraßergebnisse nach sechs Stunden protokolliert - fünf/vier Ansätze - vier/fünf Wiederholungen - experimentelles Ökosystem: - 15°C - ein Ansatz - 40 Tiere - sechzehn Einzelwerte -
statistische Auswertung: Rangsummentest nach Wilcoxon: Unterschiede der Eifraßraten für alle Versuche auf dem 5% Niveau signifikant

V. B 2 b. Vergleichender Versuch mit P.septentrionales

allgemeine Überlegungen:

Jedes Biotop verlangt andere Anpassungen. In einem Ackerbiotop mit seinen kargen Futterverhältnissen sind schnellfüßige Räuber, die große tägliche Suchareale haben, sicherlich bevorteilt. P.septentrionales zeichnet sich gegenüber M.peniculatus gerade durch seine höhere Laufaktivität aus. Die folgenden Versuche sollten klären, ob die Such-, Fraßleistung der beiden Arten sich mit größer werdendem Suchareal relativ zueinander verändert.

Versuchsbeschreibung:

Es wurden drei vergleichende Versuchsreihen durchgeführt. Die eine wurde in Petrischalen (55 cm^2) mit erhöhtem Rand ausgeführt. Hierbei wurden 4 Tiere in jede Schale gesetzt und vier Tage lang beobachtet. Bei der zweiten Versuchsreihe wurden Gefrierdosen (2oo cm^2) verwendet. Die dritte Versuchsreihe wurde in einem experimentellen Ökosystem durchgeführt und wurde als Versuch schon in V. B 1 beschrieben.

Ergebnis:

Abbildung 15 a zeigt die tägliche Eifraßrate pro Tier. Abbildung 15 b stellt die Suchleistung x cm^2 für beide Raubmilbenarten dar.

Bei allen Versuchen fraß M.peniculatus mehr Eier als P.septentrionales, und dieses Verhältnis blieb über alle Suchareale von 55 cm^2 bis 2loo cm^2 nahezu konstant. Es betrug stets das 2,3 bis 2,5-fache.

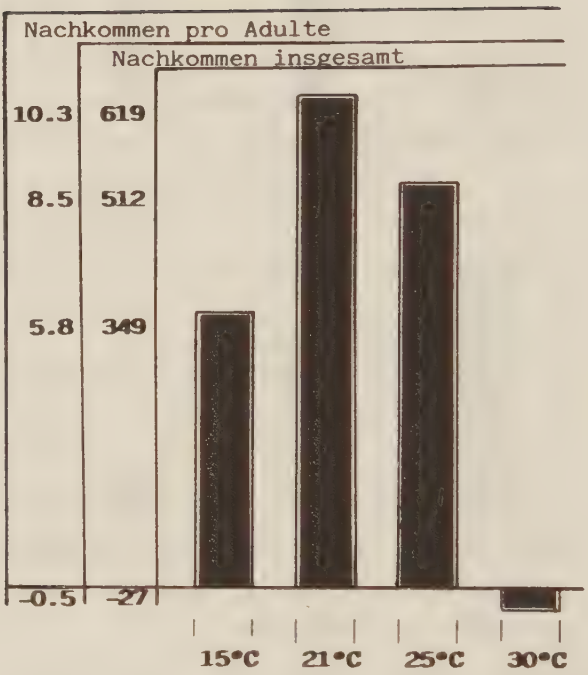


Abb.16 Nachkommen bei vier Temperaturen in lehm- und humushaltigem Boden

negative Zahl der Nachkommen: mehr Adulte gestorben als Nachkommen geboren - Versuchsdauer 7 Tage - pro Temperatur: 4 Ansätze mit je 15 gleichaltrigen Tieren - statistische Auswertung: 21°C hatte in drei von vier Fällen die meisten Nachkommen, 25°C hatte einmal den höchsten Wert -

VI. Untersuchungen zur Bestimmung der günstigsten Reproduktions- und Zuchtbedingungen

VI.A Untersuchungen zur Ermittlung des günstigsten Temperaturbereichs

VI. A 1 Die Wirkung der Temperatur auf die Vermehrungsrate

Versuchsbeschreibung:

Die Versuchsbehälter waren Gefrierdosen (1o x 2o x 1o cm), die zur ständigen Belüftung ein Gazefenster (6 x 6 cm) in ihrem Deckel hatten. Die Erde war eine Mischung aus Lehmerde, Blumenerde und getrocknetem Gras, das schon einige Monate bei Raumtemperatur gelagert worden war. Um möglichst natürliche Verhältnisse zu erreichen, kamen noch ungefähr 5o Collembolen hinzu. Die untersuchten Temperaturen lagen bei 15°C, 21°C, 25°C und 3o°C. In jeden Versuchsbehälter kamen 15 adulte Tiere gleichen Alters. Die Futtermenge wurde über ein skaliertes Glasröhrchen nach ihrem Volumen bestimmt und wurde im Überschuß zugegeben.
Die Versuchsdauer war 7 Tage. Es wurden vier Wiederholungen durchgeführt.

Ergebnis:

Die Abbildung 16 zeigt die Summe aller Tiere nach einer Woche. Sie stammt von insgesamt 6o Tieren. Die meisten Nachkommen wurden bei 21°C gefunden.

VI. A 2 Die Wirkung der Temperatur auf die Effektivität der Eiproduktion zur Fraßrate

allgemein:

Ein Tier, das in Nahrungskonkurrenz mit vielen anderen steht,

hat in der ökologischen Nische gewöhnlich die höchste Überlebenschance, in der es das Nahrungsangebot am Effektivsten zur Reproduktion verwerten kann.

Versuchsbeschreibung:

Bei vier Temperaturen wurden gleichzeitig von 2o Tieren die in 24 Stunden gelegten Eier und die gefressenen Diptereneier protokolliert. Die Versuche wurden dreimal wiederholt. Die Versuchsgefäße waren Petrischalen, in denen die Tiere einzeln gehalten wurden.

Ergebnis:

Die Abbildung 17 zeigt die aus dem Quotienten gelegte Eier zu gefressenen bestimmte Effektivität der Eiproduktion. Bei 21°C hatte sie mit 0.71 den höchsten Wert, d.h., wenn ein Ei gefressen wird, werden 0.71 Eier gelegt. Bei 3o°C war die Effektivität mit 0.14 Eiern am geringsten.

VI. B Untersuchungen der Gründe der fördernden Wirkung des Humus auf die Vermehrung

allgemein:

Schon in den Untersuchungen im ersten Teil hatte sich ergeben, daß die Vermehrungsrate im Humus um das Vierfache höher war als im Lehmboden unter vergleichbaren Bedingungen. Die Gründe hierfür sind unbekannt. Es stellte sich zuerst einmal die Frage, ob die geringe Vermehrungsrate im Lehmboden eine Folge hemmender Einflüsse war, oder aber, das bessere Ergebnis im Humus auf fördernde Einflüsse des Humus selbst zurückzuführen sei.

In einem kleineren Versuch, der in den Versuchsbedingungen dem erwähnten Versuch identisch war und darum mit diesem im ersten

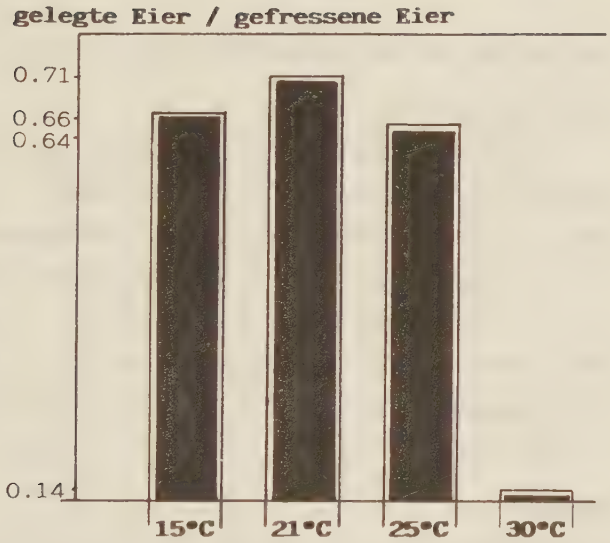


Abb.17 Die Effektivität der Eiproduktion zur Fraßrate bei vier Temperaturen

pro Temperatur: 20 Tiere, 3 Wiederholungen - Tiere einzeln in Petrischalen gehalten - Versuchsdauer: 24 Stunden -
statistische Auswertung: Rangsummentest: Unterschiede zwischen 15°C, 21°C und 25°C nicht signifikant auf dem 5% Niveau -

Teil behandelt wurde, wurde festgestellt, daß eine fördernde Wirkung anzunehmen ist. Die Zahl der Nachkommen entsprach auch in Gipsschalen der der Versuche mit Lehmböden.

VI. B 1 **Die Bedeutung des Zersetzungsgrades des Humus auf die Vermehrung**

Versuchsbeschreibung:

Die Versuchsbedingungen entsprachen denen des Versuches zur Wirkung der Temperatur auf die Vermehrungsrate und sind auch dort beschrieben. Besonders zu erwähnen bleibt, daß die Versuche viermal hintereinander mit dem gleichen Substrat gemacht wurden und der Zersetzungsgrad des Grases sich in der zweiten Woche stark änderte. Die Versuche wurden parallel bei vier verschiedenen Temperaturen durchgeführt, beim vierten Mal waren es jedoch nur zwei Ansätze.

Ergebnis:

Die Abbildung 18 zeigt das über die verschiedenen Temperaturstufen summierte Ergebnis. Es ist im Verlauf völlig identisch mit den Einzelergebnissen. Da beim vierten Versuch nur zwei Ansätze erfolgten, wurde das Ergebnis auf vier Ansätze extrapoliert.

An dem Ergebnis ist hervorzuheben, daß die Anzahl der Nachkommen nur während des einsetzenden stärkeren Verfalls des Grases höher liegt, und ansonsten die Anzahl der Nachkommen vor und nach dem Verfall gleich niedrig bleibt.

VI. B 2 **Die Bedeutung einer längeren trockenen Lagerung des Humus auf die Vermehrung**

Versuchsbeschreibung:

Parallel zum Bodengemisch mit dem Graszusatz wurde mit der gleichen

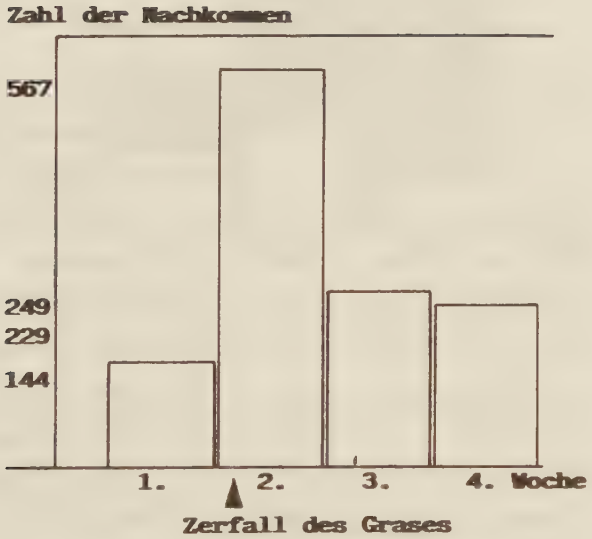


Abb.18 Die Veränderung der Vermehrung mit der Zersetzung von Gras

Versuchsdauer vier Wochen - pro Woche vier parallele Ansätze mit je 15 Tieren -
Von vier Werten hatte der Wert in der zweiten Woche bei vier Ansätzen vier Mal den höchsten Wert -

Population ein identischer Versuch mit einem über ein Dreivierteljahr getrocknetem Humus angesetzt, in dem ich neun Monate zuvor M.peniculatus gezüchtet hatte, in dem aber aus mir unbekannten Gründen die Vermehrungsrate praktisch auf Null zurückging.

Ergebnis:

Das Ergebnis zeigt Abbildung 19. Die Vermehrungsrate liegt um das Drei- bis Fünffache höher als bei dem Versuch mit Graszusatz.

VI. B 3 Untersuchungen zur Vereinfachung der Zucht

Um zu prüfen, ob es prinzipiell die Möglichkeit gibt, eine Zucht auf Diätbasis durchzuführen, bot ich einer Population, die ich in Petrischalen mit Gipsboden hielt, tiefgefrorene Hausfliegeneier an. Die Eier wurden von Adulten und Jugendstadien ohne Unterschied zu normalen Eiern angenommen. In einem weiteren Versuch bot ich den Tieren gefriergetocknete Hausfliegeneier an. Das gefriergetrocknete Pulver wurde mit Aqua dest. als Brei zubereitet und in kleine Kapillarröhrchen gefüllt, um ein schnelles Austrocknen zu verhindern. Alle Stadien saugten bereitwillig die angebotene Nahrung aus den Röhrchen. Entwicklung und Vermehrung verliefen ohne erkennbare Schwierigkeiten.

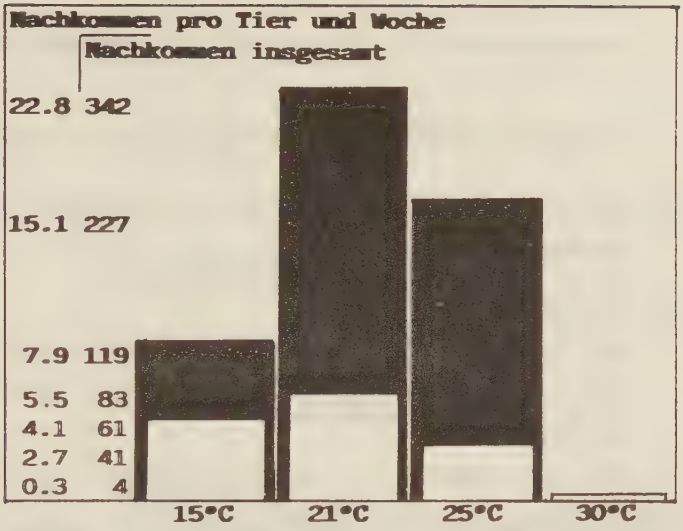


Abb.19 Vermehrung in einem wiederverwendeten, verbrauchten Bodenansatz nach längerer Lagerung

■ wiederverwendete, verbrauchte Komposterde, in der keine Vermehrung mehr möglich war

□ Vergleich der Vermehrung gleichaltriger Tiere der gleichen Population in einem Lehm/Humus Gemisch

Versuchsdauer 1 Woche - 15 Tiere pro Ansatz -

VII. Versuche zur Ermittlung der für die Berechnung der Lebenstafel notwendigen Daten und die Berechnung der Lebenstafelwerte

VII. A Versuche zur Ermittlung vermehrungsbiologisch wichtiger Daten

VII. A 1 Bestimmung der Dauer der einzelnen Entwicklungsstadien bei vier Temperaturen

Versuchsbeschreibung:

Die Versuchstemperaturen waren 15°C, 21°C, 25°C und 3o°C und die Versuchsgefäße Petrischalen mit einem angefeuchteten Gips/Aktivkohlegemisch.

Fünf adulte Weibchen wurden 24 Stunden in einer solchen Petrischale gehalten und danach in eine neue gesetzt. Die gelegten Eier blieben in der alten Schale, wurden gezählt und die Entwicklung täglich protokolliert.

Ergebnis:

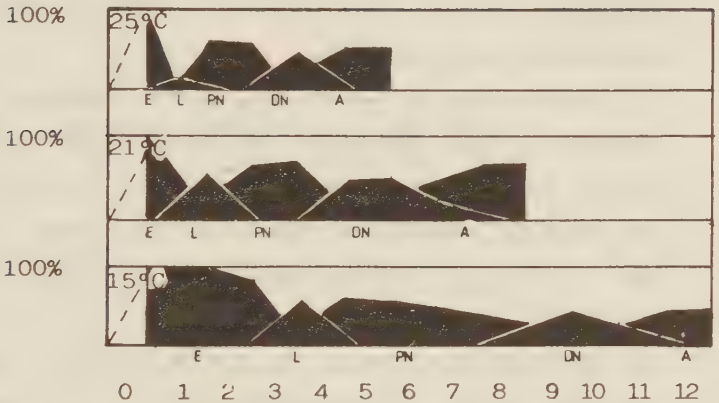
Abbildung 2o a zeigt die zeitliche Abfolge der Entwicklung, wie sie aus den Protokollergebnissen direkt übernommen werden konnte.

Die Abbildung 2o b gibt den aus dem ersten Erscheinen eines Entwicklungsstadiums und seinem Maximum gemittelten Wert als Entwicklungsdauer wieder. Bei 3o°C fand nur in wenigen Fällen eine Entwicklung bis zur Larve oder Protonymphe statt. Weitere Stadien wurden nicht beobachtet.

Die Gesamtentwicklung dauerte

bei 15°C lo bis 12 Tage
bei 21°C 6 bis 9 Tage
und bei 25°C 4 bis 5 Tage.

Anzahl der Nachkommen



a. **Entwicklungsdauer in Tagen**

	15°C	21°C	25°C	
Eier	3	1	0.5	Tage
Larven	4	2.5	1.5	Tage
Protonymphen	8.5	4.5	3	Tage
Deutonymphen	11	6.5	4	Tage

b. maximale Entwicklungsdauer in Tagen

Abb.20 Die Entwicklungsdauer bei drei Temperaturen

a. Entwicklungspopulationskurve: zeitliche Abfolge der einzelnen Entwicklungsstadien in % der beobachteten Eier
b. durchschnittliche maximale Dauer der Entwicklungsstadien in Tagen seit Versuchsbeginn
E Eier - **L** Larven - **PN** Protonymphen - **DN** Deutonymphen - **A** Adulte -
Versuchsgefäße: Petrischalen - Gruppenhaltung - Beobachtung der Entwicklung im Abstand von 24 Stunden - Zahl beobachteter Eier: bei 25°C 93 Eier - 21°C 147 Eier - 15°C 74 Eier

VII. A 2 Bestimmung der Überlebensrate der einzelnen Entwicklungsstadien bei vier Temperaturen

Versuchsbeschreibung:

Die Überlebensrate wurde zusammen mit der Entwicklungsdauer im gleichen Versuch bestimmt, s.o..

Ergebnis:

Das Ergebnis zeigt Tabelle 8.

Die Überlebensrate berechnete sich aus dem Maximum des Entwicklungsstadiums plus den schon im nächsten Stadium befindlichen Tieren. Sie ist daher, besonders bei einer stärkeren Überlappung der einzelnen Entwicklungsstadien, nicht ganz exakt. In Anbetracht der unnatürlichen Aufzuchtumgebung fällt dieses jedoch nicht ins Gewicht.

Die Überlebensrate vom Ei bis zum adulten Tier war bei 21°C am größten und bei 15°C am geringsten.

VII. A 3 Bestimmung der Eilegerate bei vier Temperaturen

Versuchsbeschreibung:

Die Versuchsgefäße waren Petrischalen mit angefeuchtetem Gipsboden. Die Tiere wurden einzeln in den Schalen gehalten. Pro Temperaturstufe wurden fünf Tiere beobachtet. Gefüttert wurden Diptereneier im Überschuß, die gelegten Eier täglich aus den Schalen genommen und gezählt. Beim Beginn der Untersuchungen waren die Tiere maximal zwei Tage alt. Die Versuche wurden über 12 Tage fortgesetzt.

Ergebnis:

Die durchschnittliche Eizahl pro Tier, berechnet aus dem Durchschnitt von fünf Tieren, ist für jeden Tag in Abbildung 21 eingezeichnet.

	15°C	21°C	25°C
Eier	70%	87%	---
Larven	86%	86%	---
Protonymphen	61%	87%	88%
Deutonymphen	91%	100%	80%
insgesamt vom **Ei bis Adulte**	33%	67%	33%

Tab.8 Überlebensraten der Entwicklungsstadien

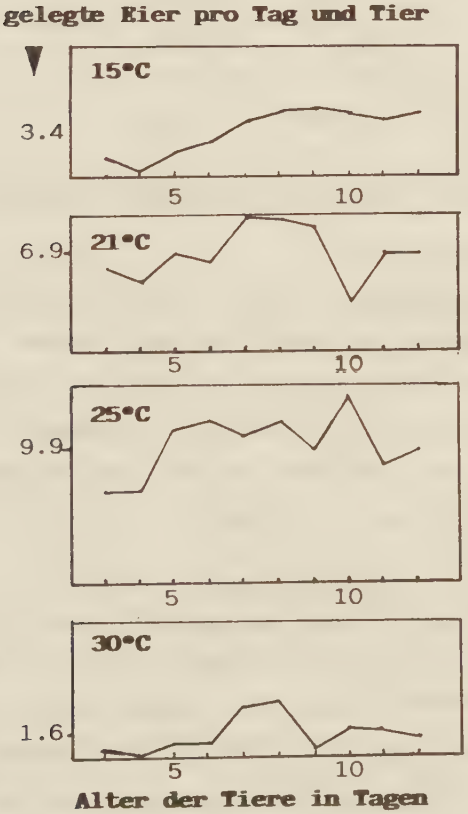


Abb.21 Die täglich gelegten Eier

Links neben der Ordinate ist die durchschnittlich gelegte Zahl der Eier angegeben
Pro Temperatur: 5 Tiere, einzeln gehalten

Die Kurven zeigen zweierlei. Zum einen zeigt sich über die Dauer der untersuchten Zeit eine fast konstante Eilegerate, wenn auch ein leichter anfänglicher Anstieg zu beobachten ist. Zum anderen kann auf Grund der relativen Konstanz der gelegten Eier für jede Temperatur die durchschnittliche Eizahl pro Tier und Tag angegeben werden.

Die durchschnittlich täglich gelegte Eizahl war

bei 15°C 3,4 Eier
bei 21°C 6,9 Eier
bei 25°C 9,9 Eier
bei 3o°C 1,6 Eier.

VII. A 4 **Bestimmung der Eilegerate gegen Ende der Reproduktionsphase**

Versuchsbeschreibung:

Die Versuchsergebnisse wurden den Protokollen zu einem Versuch zur Bestimmung der Entwicklungsdauer entnommen. Die Tiere wurden auf jeder Temperaturstufe zu Fünf in einer Petrischale zur Eiablage gehalten. Die täglich entnommenen Eier wurden protokolliert. Das Alter der adulten Tiere war unbekannt. Sie waren vorher bei 15°C gehalten worden.

Ergebnis:

In Abbildung 22 zeigt die gepunkte Linie die täglich gelegte Eizahl, geteilt durch die Anzahl der noch lebenden Tiere. Der Pfeil auf der Abzisse zeigt jeweils den Tod eines Tieres an. Man erkennt, daß die durchschnittlich gelegte Eizahl über längere Zeit konstant bleibt und sich auch nach dem Tod eines Tieres kaum ändert. Daraus läßt sich schließen, daß die Tiere auch bis kurz vor ihrem Tod eine konstant hohe Legerate haben.

Die durchschnittlich täglich gelegte Eizahl war am Anfang des

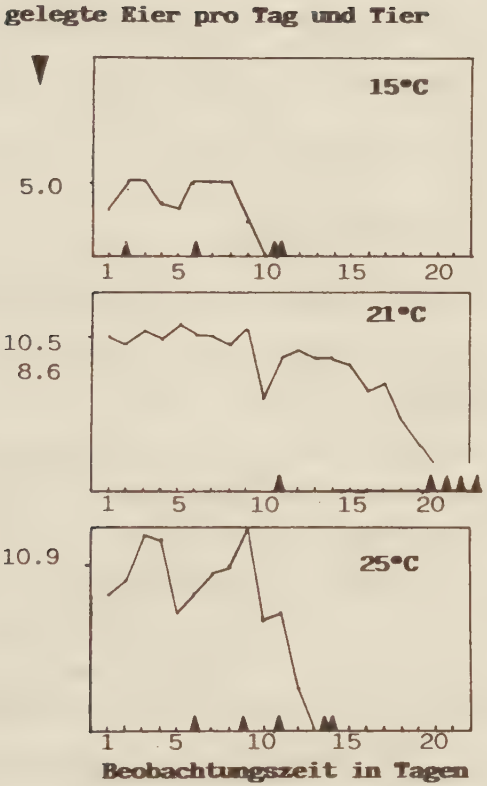


Abb.22 Die täglich gelegten Eier einer Population gegen Ende der Reproduktion

▲ Tod eines Tieres
— Zahl an Ordinate: durchschnittlich gelegte Eizahl über mehrere Tage -
pro Temperatur: 5 Tiere gemeinsam in Petrischale gehalten — 15°C vier Tiere -

Versuches

bei 15°C 5,o Eier

bei 21°C lo,5 Eier

bei 25°C lo,9 Eier.

Sie liegt damit höher als im zuvor beschriebenen Versuch. Insbesondere gilt das für die Eizahl bei 21°C.

VII. A 5 Erster Versuch zur Bestimmung der Lebensdauer

Versuchsbeschreibung:

Die Versuchsgefäße waren Petrischalen. Pro Temperatur wurden lo Tiere untersucht, die gemeinsam in einer Petrischale gehalten wurden. Als Futter wurden Muscaeier im Überschuß gegeben.

Ergebnis:

Das Ergebnis darf nur als erste Annäherung verstanden werden, da die Zahl der untersuchten Tiere mit lo Individuen pro Temperatur recht gering ist, und weil die Tiere selbst keinen besonders gesunden Eindruck vermittelten. Leider wurden keine Wiederholungen mit anderen Populationen vorgenommen.

Abbildung 23 weist die Anzahl der in den Schalen tot aufgefundenen Tiere in Tagen nach der Imaginalhäutung aus. Umrandet ist die durchschnittliche Lebensdauer der adulten Weibchen. Sie beträgt bei 15°C 34 Tage und verringert sich bis auf lo Tage bei 3o°C.

VII. B Berechnung der Lebenstafelwerte

Um die Lebensgeschichte einer Art mit der anderen vergleichbar zu machen, übernahmen die Entomologen (Birch,1948) die Methode der Lebenstafeln, wie sie schon lange in der menschlichen Bevölkerungsstatistik verwendet wurde. Die exponentielle Wachs-

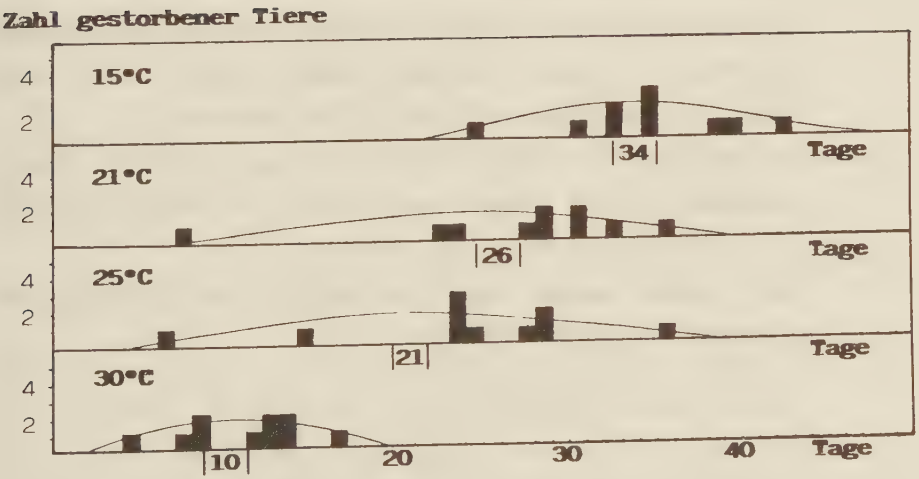


Abb. 23 Lebensdauer von M.peniculatus bei vier Temperaturen

| | mittlere Lebensdauer

pro Temperatur: 10 Tiere gemeinsam in Petrischalen gehalten

tumsrate bezeichnete Birch als "The intrinsic rate of natural increase", und gleichzeitig zeigte er eine Methode, sie zu berechnen. Die Berechnung dieser exponentiellen Vermehrungsrate ermöglicht es, die wichtigsten Bedingungen der Vermehrung in einer Zahl zusammenzufassen: die Anzahl der Nachkommen, die Entwicklungsdauer und die Reproduktionsperiode. Das mühselige, oft gar nicht mögliche experimentelle Aufstellen einer Population mit stabiler Altersstruktur wird durch die Berechnung eingespart.

VII. B 1 methodische Darstellung

Zur Berechnung wurden folgende Annahmen gemacht: Die Eilegerate ist über die gesamte Reproduktionsphase konstant. Als Zahlen wurden die niedrigeren Werte aus VII . A 1 verwendet.

Die Bedeutung der Anzahl gelegter Eier sowie die der Entwicklungsdauer auf die Vermehrungsrate, wird für einige theoretische Fälle am Ende dieses Abschnittes untersucht.

Unter dieser Annahme sieht der tägliche Multiplikationsfaktor R_m in Form einer Matrix wie folgt aus:

0	0	0	0	0	.	a	.	a	a	a
1	0	0	0	0	.	0	.	0	0	0
0	1	0	0	0	.	0	.	0	0	0
0	0	1	0	0	.	0	.	0	0	0
0	0	0	1	0	.	0	.	0	0	0
0	0	0	0	1	.	0	.	0	0	0
.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

a stellt die durchschnittlich pro Tag gelegte Eizahl eines Weibchens dar.

Bei Darstellung der Anzahl der verschiedenen Altersgruppen als

Spaltenvektor und Multiplizierung mit der Matrix, ergibt sich die Altersgruppierung des folgenden Tages. Diese wird wieder mit der Matrix multipliziert und man erhält die Altersverteilung für einen weiteren Tag und so fort.

Die Berechnung dieser Matrix ließ sich in dem sehr einfachen Fall von M.peniculatus auch ohne aufwendiges Computerprogramm mit einem programmierbaren Taschenrechner wie folgt durchführen:

Ein Tier legt am ersten Tag seiner Reproduktionsperiode a Eier, am zweiten Tag ebenfalls und so weiter. Nach n Tagen, die der Entwicklungsdauer und der Präovipositionsperiode entsprechen, kommen die ersten jungen Adulten hinzu und legen insgesamt a x a Eier zu den a Eiern des älteren Tieres, am nächsten Tag kommen zu dieser täglich gelegten Eizahl nochmals a x a Eier der am folgenden Tag geborenen Tiere hinzu und so weiter. Auf diese Weise entsteht die Formel.

$$(1+\sum_{t-n=1}^{k}(t-n)a+\sum_{t-2n=1}^{k-n}(t-2n)a^2+\sum_{t-3n}^{k-2n}(t-3n)a^3+..+\,)a=A_t$$

Sie gibt die Anzahl der am Tag t gelegten Eier einer Population an. Den durch den Tod der Tiere geminderten Betrag täglich gelegter Eier erhält man, wenn man mit dem x ten Tag, der den Tod des ersten Tieres markiert, eine zweite, gleiche Formel beginnen läßt und ihren Betrag von dem der ersten abzieht. Bei den sehr hohen Vermehrungsraten von M.peniculatus liegt diese Korrektur immer unter einer pro mille und kann daher vernachlässigt werden.

Aus dem Quotienten A_{t+1}/A_t erhält man die tägliche Vermehrungsrate R_m.

VII. B 2 Ergebnis

Die Tabelle 9 zeigt die berechneten Lebenstafelwerte und die zur Berechnung verwendeten Daten.
Bei 25°C hat M.peniculatus mit einem täglichen Vermehrungsfaktor von 1,85 die höchste Vermehrungsrate. Bei 21°C liegt sie bei 1,53 und bei 15°C bei 1,26.

VII. C Die Auswirkung unterschiedlicher entwicklungsbiologischer Annahmen auf die tägliche Vermehrungsrate R_m

Ziel:

Da die günstigsten Haltungs- und Reproduktionsbedingungen für M.peniculatus noch unbekannt sind, wurden an dem mathematischen Model verschiedene Annahmen durchgespielt, mit dem Ziel, ihre unterschiedliche Bedeutung auf die tägliche Vermehrungsrate festzustellen. Untersucht wurden die Auswirkung der Lebensdauer, die Anzahl der täglich gelegten Eier und die Entwicklungsdauer.

VII. C 1 Die Bedeutung der Lebensdauer für die Höhe der Vermehrung

Ergebnis:

Mit den vermehrungsbiologischen Daten bei 25°C wurde die Veränderung der täglichen Vermehrungsrate unter der Annahme untersucht, daß die Tiere eine unbegrenzte Reproduktionsphase haben. Es wurde angenommen, daß die Vermehrungsrate ohne Ende der Reproduktionsphase beständig ansteigen würde. Tatsächlich nähert sie sich einem Grenzwert, wie Abbildung 24 zeigt. Die Erklärung dafür ist recht einfach. Bei einer Vermehrungsrate, die fast eine Verdoppelung pro Tag erreicht, ist der Beitrag der Stammtiere ab einem bestimmten Zeitpunkt unbedeutend. Wie die Abbildung 24 zeigt, ist dieses schon ab etwa lo Tagen der Fall;

	R_m	r_m	R_o	T	Eiz	Etw	Lbd
15°C	1.26	0.23	115.6	20.55	3.4	12	34
21°C	1.53	0.43	179.4	12.20	6.9	7	26
25°C	1.85	0.62	207.9	8.67	9.9	5	21

Tab.9 Lebenstafelwerte mit verwendeten Daten

R_m tägliche Vermehrungsrate, r_m = ln R_m logarithmische Vermehrungsrate, R_o Nettoreproduktion, T mittlere Generationszeit
Eiz. Eizahl, Etw. Entwicklungsdauer: Ei,Adult
Lbd. Lebensdauer der Adulten

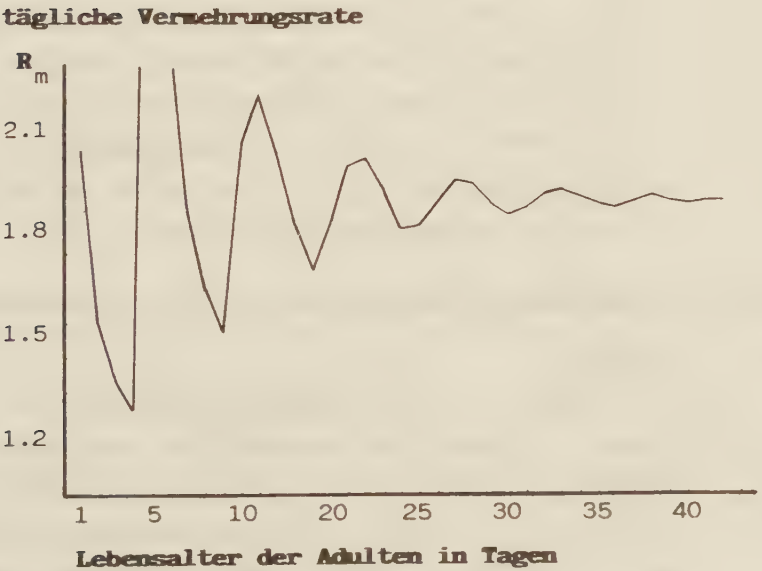


Abb.24 Veränderung der täglichen Vermehrungsrate bei unbegrenzter Lebensdauer (Reproduktionsphase)

ein Alter, das von den Tieren tatsächlich erreicht wird.

Mathematisch ist das Ergebnis auf einfache Weise auch so zu erklären:

Bei einer Verdoppelung pro Tag über 3o Tage ist die Zahl der Individuen auf 2^{30} gleich 1.o73.741.824 gestiegen und der Beitrag der Stammeltern zur Vermehrung der Population wird unbedeutend.

VII. C 2 **Die Bedeutung der täglich gelegten Eier für die Vermehrung**

Ergebnis:

Wieder ausgehend vom für 25°C berechneten Beispiel mit einer Entwicklungsdauer von 5 Tagen, zeigt die Kurve mit den offenen Kreisen in Abbildung 25 die Wirkung einer Änderung der Eizahl auf die Vermehrungsrate.

Bei etwa lo Eiern flacht die Kurve ab. Man kann allerdings mathematisch zeigen, daß sie keinem Grenzwert zustrebt, sondern - wenn auch sehr langsam - beständig ansteigt. Die größte Wirkung hat die Eizahl nur unterhalb von lo Eiern täglich, wie der starke Anstieg in Abbildung 25 zeigt. Aber selbst bei nur einem Ei pro Tag liegt die Vermehrungsrate noch immer über 1,3.

VII. C 3 **Die Bedeutung der Entwicklungsdauer für die Höhe der Vermehrung**

Ergebnis:

Das Ergebnis ist in Abbildung 25 als Kurve mit den schwarzen Kreisen zu sehen. Eine Verkürzung der Entwicklungsdauer von 5 Tagen auf 3 Tage hat eine drastische Erhöhung der täglichen Vermehrungsrate zur Folge; eine Verlängerung der Entwicklungsdauer auf 7 Tage hingegen einen wesentlich geringeren Einfluß und selbst bei einer Entwicklungsdauer von 12 Tagen beträgt die Vermehrungsrate noch mehr als 1,3 täglich.

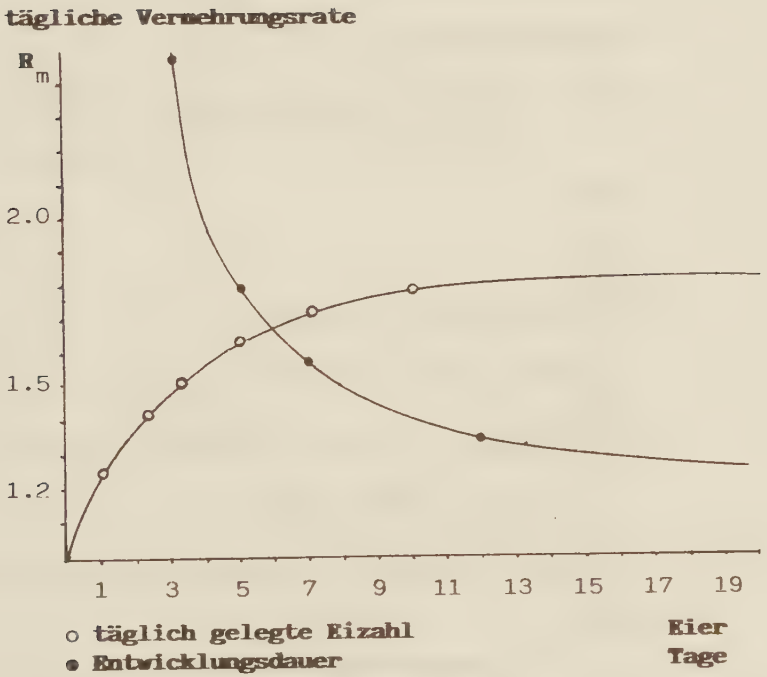


Abb.25 Die Veränderung der täglichen Vermehrungsrate mit unterschiedlicher Eizahl und Entwicklungsdauer

VIII. Zusammenfassung der Ergebnisse:

Zweck der Untersuchungen:

Untersuchung ökologischer und technischer Bedingungen des Einsatzes von Macrocheliden zur biologischen Bekämpfung von schädlichen Dipterenlarven im Ackerboden.

VIII. A Ökologische Charakterisierung von M.peniculatus

Ziel der Untersuchung:

Bestimmung ökologischer Faktoren, die für das Vorkommen von M.peniculatus im Ackerboden begrenzend sein könnten

VIII. A 1 Boden

Unters.: (IV. D)

Methode:

Humus/Lehmgradient in vier Stufen

Wahlversuche mit und ohne Diptereneier

Ergebnis:

1. hohe Präferenz für humusreichere Böden festgestellt
   a. durch aktives Wahlverhalten
   b. durch höhere Reproduktion
2. geringere Präferenz für lehmhaltige, humusärmere Böden festgestellt
   a. durch geringere Attraktion
   b. durch geringere Reproduktion

Folgerung:

Humus: günstigere Lebensbedingungen

Lehm: zeitweiliges Leben möglich

geringere Reproduktion möglich

VIII. A 2 **Feuchtigkeit**

Unters.: (IV. B)

Methode:

Reproduktion: drei Feuchtigkeitsstufen, 8o %, 5o %, 2o % WK
(WK = Wasserkapazität)

Suchaktivität: drei Feuchtigkeitsstufen, 1o %, 2o %, 3o % WK

Ergebnis:

Reproduktion: geringfügig höhere Vermehrung bei 5o % WK,
fast gleichhohe bei 2o % und 8o % WK

Suchaktivität: bei 3o %, 2o% WK ähnliche Ergebnisse (12o;1oo Eier)

Folgerung:

großer Feuchtigkeitstoleranzbereich

plateauartiges Optimum zwischen 2o % und 8o % WK

VIII. A 3 **Temperatur**

Unters.: IV. C; VI. A)

Methode:

Temperaturstufen: 15°C, 21°C, 25°C, 3o°C

Temperatursprünge: zwischen 15°C und 3o°C

Ergebnis:

maximale Temperatur: Überleben - höher, gleich 3o°C
Vermehrung - kleiner, gleich 3o°C

minimale Temperatur: Vermehrung - noch bei weniger als 15°C gute
Ergebnisse (15°C Raum = ca. 13°C Boden)

optimale Temperatur: Vermehrung zwischen 21°C und 25°C

Temperatursprünge: 1. sofortige Anpassung bei
a. Eilegerate (Untersuchungsintervall 24 Std.)
b. Fraßrate (Untersuchungsintervall 6 Std.)

Folgerung:

großer Temperaturtoleranzbereich

sehr gute Anpassung an Temperaturänderungen

VIII. A 4 **Nahrung**

Unters.: (III. 3; III. 4; IV. A)

Methode:

Wahlversuch, Einzelbeobachtungen

angebotene Beutetiere: Milben: kleinere Gamasiden, Acrididae;
Collembolen: Poduriden; Nematoden;
Dipterenеier, -maden: Haus-, Kohlfliege;
tote Collembolen, tote Fliegen, (Muscidae,
Drosophilidae)

Ergebnis:

Hauptnahrung: Dipterenеier, -maden (sehr hohe Reproduktionsrate)

zusätzlich: tote Drosophilidae, tote Collembolen
fördernde Wirkung des Humus auf Reproduktionsrate

Folgerung:

oligophager Räuber von Dipterenеiern und -larven

VIII. A 5 **Fraßleistung**

Unters.: (V. A)

Methode:

Petrischalenversuche bei 15°C, 21°C, 25°C, 3o°C

maximal: 19,2 Hausfliegeneier/Tag, Tier bei 25°C

minimal: 1o,8 Hausfliegeneier/Tag, Tier bei 15°C

Folgerung:

sehr hohe Fraßleistung für ein Tier, das kleiner ist als seine Beute

VIII. A 6 **Hungerresistenz**

Unters.: (IV. A)

Methode:

ohne Diptereneier mit Ersatznahrung: Populationsschwankungen

ohne Diptereneier ohne Ersatznahrung: Suchaktivität untersucht

Ergebnis:

mit Ersatznahrung: vier bis sieben Wochen überlebensfähig

ohne Ersatznahrung: nur 5 Tage beobachtet: bei 15°C keine Wirkung

bei 21°C geringe Wirkung

Folgerung:

längere Zeit überlebensfähig ohne Diptereneier

VIII. A 7 **Beutesuchverhalten**

Unters.: (V. B)

Methode:

in lehmhaltigem Gartenboden mit unterschiedlichem Suchareal

(55 cm^2 bis 2100 cm^2)

Beobachtung der Fraßleistung, Berechnung der Suchleistung,

Wirkung der Gelegestellen auf die Verteilung im Boden,

Vergleich mit P.septentrionales

Ergebnis:

konstante Fraßleistung von 55 cm^2 bis 200 cm^2

Anstieg der Suchleistung mit Vergrößerung der Versuchsfläche

Verteilung: 4,75-fach höhere Anzahl von Tieren um Gelegestellen gefunden

über alle Grundflächen nahezu konstante 2,5-fach bessere Fraßleistung als P.sept.

Folgerung:

Anhaltspunkte für ein längeres Verweilen um Gelegestellen, keine Anhaltspunkte für eine schlechter angepaßte Suchstrategie als P.sept.

VIII. A 8 Orientierung

Unters.: (IV. D)

Methode:

indirekte Schlußfolgerung aus Attraktion durch Humusgehalt Nahrung

andere Schlußfolgerungen noch möglich

Folgerung:

Anhaltspunkte für eine mögliche CO_2 Orientierung

VIII. B Vermehrungsbiologische Untersuchungen

VIII. B 1 Versuche zur Entwicklung

Unters.: (VII. A)

Methode:

15°C, 21°C, 25°C, 3o°C; Petrischalenversuche

Gruppenhaltung: Entwicklung, Lebensdauer

Einzelhaltung: Eilegerate

Ergebnis:

gesamte Entwicklungsdauer:	höchste	: 11,5 Tage	(15°C)
	niedrigste:	4,5 Tage	(25°C)
Überlebensrate insgesamt:	höchste	: 66 %	(21°C)
	niedrigste:	33 %	(15°C)
tägliche Eilegerate:	höchste	: 9,9 Eier	(25°C)
	niedrigste:	1,6 Eier	(3o°C)

VIII. B 2 Vermehrung

Unters.: (VI. A; VII. B)

Methode:

vier Temperaturstufen: 15°C, 21°C, 25°C, 3o°C (Humus, Komposterde)

Berechnung: Lebenstafelwerte (Petrischalenversuche)

Ergebnis:

Vermehrungsrate (mit Humus; direkt beobachtet)

höchste: 24fach pro Woche

niedrigste: 4fach pro Woche

tägliche Vermehrungsrate R_m: höchste: 1,85fach (berechnet)

1,56fach (Humus/beobachtet)

niedrigste: 1,26fach (berechnet)

Folgerung:

sehr hohe Vermehrungsrate

VIII. B 3 **Modelberechnung**

Unters.: (VII. C)

Methode:

Veränderung: Entwicklungsdauer zwischen 4 und 12 Tagen

" : tägliche Eizahl zwischen 1 und 1o Eiern

Ergebnis:

Wirkung auf die tägliche Vermehrungsrate R_m bei Veränderung der täglichen Eizahl : ab etwa 1o Eiern nur noch geringe Erhöhung von R_m

Entwicklungsdauer: bei weniger als 4 Tagen extreme Steigerung von R_m

Folgerung:

M.peniculatus: optimale Vermehrungsstrategie mit 9,9 Eiern und 4,5 Tagen der Entwicklung bei 25°C

VIII. C **Zucht- und Haltungsbedingungen**

Ziel:

Verbesserung und Vereinfachung der Zuchtbedingungen

Unters.: (VI.)

Methode:

Haltung in verschiedenen Substraten,

Anbieten von tiefgefrorenen Eiern und gefriergetrockneten Eiern

Ergebnis:

Bestimmte Stoffe im Humus fördern die Vermehrung;

Annahme von tiefgefrorenen und gefriergetrockneten Eiern;

normale Entwicklung und Vermehrung bei gefriergetrockneter Nahrung.

Folgerung:

Haltung und Zucht auf einer Diätbasis möglich.

IX. 1 Diskussion

IX. 1 Einordnung und Beurteilung

IX. 1 a. Vorversuche

Insgesamt zeigen die Freilandversuche eine beachtliche Anzahl eierfressender Raubmilben in der oberen Schicht des Ackerbodens, die bisher als solche unbekannt waren. Verglichen mit den wichtigsten bekannten Eiräubern, den Carabiden, ist ihre Zahl um ein Vielfaches größer. Coaker und Wiliams (1963) fanden mit einer capture-release-Methode, daß der an Zahl und Fraßleistung bedeutendste Carabide Bembidion lampros mit knapp einem Individuum pro m^2 im Ackerboden vorhanden war. Im Vergleich dazu hat Pergamasus crassipes in meinen Untersuchungen mehr als lo Individuen pro m^2.

Obwohl die Fütterungstests zeigen, daß die im Ackerboden gefundenen Raubmilben als Prädatoren von Diptereneiern in Frage kommen, ist ihre Fraßleistung doch recht bescheiden. Pergamasus fraß täglich maximal zwei Eier. Hinzu kommt, daß alle Arten ein weites Beutespektrum zeigen (Karg,1971).

Nur wenige Autoren haben sich mit den im Boden lebenden Raubmilben beschäftigt. Systematische Untersuchungen der Raubmilben des Ackerbodens gibt es praktisch nur von Karg. In seiner Veröffentlichung von 1967 faßt er die Ergebnisse langjähriger Untersuchungen zusammen. Darin stellt er fest, daß es keine nur auf das Ackerbiotop spezialisierte Raubmilben gibt, ausgenommen zweier sehr kleiner Arten, die in den tieferen Bodenschichten leben können, in denen auch im Ackerboden einigermaßen stabile Verhältnisse herrschen.

IX. 1 b. Untersuchung zur ökologischen Anpassung von M.peniculatus

Mit der vorliegenden Arbeit sollte erstmals untersucht werden, ob Macrocheliden als Prädatoren zur Bekämpfung schädlicher Dipterenlarven im Ackerboden bedeutsam werden könnten.

Die Untersuchungen wurden exemplarisch an einem ihrer Vertreter, M.peniculatus, gemacht. In der Literatur findet sich nur eine Arbeit zur Biologie von M.peniculatus, (Filipponi und Passariello, 1969). Sie behandelt die Vermehrungsrate von M.peniculatus. Karg (1971) gibt als Fundorte Stapelmist und Laubstreu an. Ich fand sie in einem humusreichen, laubgedüngten Boden einer biologischen Gärtnerei bei pflanzlichen Abfällen, die sich gerade zersetzten.

Jede Fragestellung der vorliegenden Untersuchung wurde mit mehreren, möglichst verschiedenartigen Methoden untersucht. So war es möglich, einen Überblick über die Reaktionsweisen unter verschiedenartigen Bedingungen zu bekommen und die Aussagen durch mehrere Ergebnisse abzusichern. Um den Arbeitsaufwand in einem vertretbaren Zeitraum bewältigen zu können, wendete ich die von mir so benannte Methode des multiplexen Verfahrens an. Sie ermöglicht es, in einer Versuchsreihe die Wirkung mehrerer Parameter zu untersuchen, (II. B 3).

Die Untersuchungen haben gezeigt, daß M.peniculatus an die wesentlichen Bedingungen des Ackerbiotops angepaßt ist (s.Zusammenfassung VIII.). Als Grund, weshalb Macrocheles peniculatus bisher nicht im Ackerbiotop angetroffen wurde, hat sich ergeben, daß sie zur Reproduktion auf bestimmte Stoffe des Humus angewiesen ist und nur die erste Generation dieses Nahrungsdefizit ausgleichen kann und die zweite Generation bei ausschließlicher Fütterung mit Dipterneneiern in Petrischalen keine lebensfähigen Nachkommen

mehr gebiert (IV. B). Dies bedeutet, daß nur die erste Generation und ihre Nachkommen für einige Zeit im Ackerbiotop überleben können.

Untersuchungen in experimentellen Ökosystemen (IV. A 1) zeigten, daß M.peniculatus bei ausreichender organischer Düngung noch nach fast 2 Monaten ohne Diptereneier in diesen Systemen zu finden waren, obwohl sie ohne weiteres hätten auswandern können.

Verschiedene Untersuchungen (Yamen,1960; Hughes und Mitchell,1960; Maack,1977) weisen bei der Kohlfliege nach, daß sie zu Zeiten ihres größten Schadens im Frühjahr durchschnittlich über 50 Eier pro Pflanze und Woche ablegt. Dies entspricht einer durchschnittlichen täglichen Zahl von etwa 8 Eiern pro Pflanze für die Dauer der Legetätigkeit der ersten Kohlfliegengeneration von etwa 3 Wochen. In den Untersuchungen zur Suchleistung unter kargen Futterbedingungen mußten sich vier Tiere diese Eimenge täglich teilen (IV. A). Der Versuch lief 15 Tage, von denen an 7 Tagen keine Eier gefüttert wurden, und dennoch war die Suchleistung bei 15°C auch am 15. Tag noch unverändert und fiel nur bei 21°C etwas geringer aus. Sogar Larven und Protonymphen wurden unter diesen Bedingungen beobachtet.

Überraschend war auch das Ergebnis des Vergleichs mit Pergamasus septentrionales, die im Ackerboden regelmäßig zu finden ist. Es war angenommen worden, daß die höhere Laufaktivität von P.septentrionales ihren Sucherfolg in größeren Suchareälen begünstigen würde, und daß das gründlich Ritzen und Spalten Absuchen von M.peniculatus ein Nachteil wäre. Die Untersuchungen wurden auf Suchareälen mit Grundflächen von 55 cm^2 bis 2100 cm^2 durchgeführt. Dennoch blieb das relative Verhältnis der beiden Arten zueinander fast konstant. M.peniculatus zeigte stets ein um das 2,5-fache bessere Suchergebnis (V. B 2).

Die Untersuchungen des Toleranzbereichs von Feuchtigkeit und Temperatur zeigen (IV. B; IV. C), daß M.peniculatus in einem weiten Bereich von verschiedenen Feuchtigkeits- und Temperaturbedingungen überlebensfähig ist, so daß diese Bedingungen ihre Verbreitung im Ackerbiotop mit Sicherheit nicht beschränken. Die Bestimmung der Vermehrungsrate hat darüberhinaus noch ein ungewöhnlich hohes Vermehrungspotential ergeben. Die tägliche Vermehrungsrate von 1,85 entspricht fast einer Verdoppelung in 24 Stunden und erreicht damit einen Wert, wie man ihn sonst nur noch von Bakterien kennt. Damit ergeben sich sehr günstige Perspektiven für eine Massenzucht. Über die Erfolgsaussichten einer biologischen Kontrolle läßt sich aufgrund von Laboruntersuchungen nur spekulieren; dennoch möchte ich im folgenden noch etwas ausführlicher auf diese Perspektive eingehen und, da die Untersuchungen nur an einem Vertreter der Macrocheliden gemacht wurden, seine Stellung innerhalb der teilweise bekannten anderen Arten klären.

IX. 2 Die Stellung von M.peniculatus innerhalb der Macrocheliden

Direkt vergleichbare Daten lassen sich nur in den Arbeiten von Alessandro Filipponi (1967, 1969, 1971) finden, der sich über viele Jahre mit der Autökologie der Macrocheliden beschäftigte und für mehrere Arten Lebenstafelwerte erstellt hat. Auch zu M.peniculatus gibt er einige Daten an (Filipponi e Passariello, 1969).

Vermehrung:

M.muscaedomestica hat die höchste tägliche Vermehrungsrate der bekannten Macrocheliden mit 2,23. M.peniculatus vermehrt sich nach Filipponi maximal um das 1,78-fache. In meinen Untersuchungen bestimmte ich die höchste Vermehrungsrate mit 1,85. M.penicilliger

hat mit 1,38 den niedrigsten Wert der untersuchten Macrocheliden. Ein interessantes Phänomen der Macrocheliden ist ihre Fähigkeit zur Parthogenese. Die meisten Macrocheliden sind arrhenotok, d.h., bei ihnen treten zumindest zeitweise haploide Männchen auf. Filipponi (1964) fand bei 21 untersuchten Macrochelidenarten 19 Arten, die sich arrhenotokisch vermehrten. Nach Filipponi (1964) gibt es auch Arten, die sich thelyotokisch vermehren. Er fand diese Form der Parthogenese u. a. bei M.peniculatus. Oliver (1971) zitiert Bregetowa und Koroleva (1961), die für M.peniculatus in der UDSSR eine arrhenotokische Form der Vermehrung fanden. Auch Filipponi (1964) schließt aus verschiedenen Beobachtungen, daß gleiche Arten in verschiedenen geographischen Gebieten unterschiedliche Formen der Parthogenese entwickelt haben können. Bei M.peniculatus fand ich aber auch in meinen Zuchten trotz intensiver Suche keine Männchen, so daß dies den Befund von Filipponi erhärtet.

Temperatur:

M.peniculatus hat nach Filipponi bei 26°C ihren höchsten R_m Wert. In meinen Untersuchungen liegt die höchste Vermehrungsrate nach dem berechneten R_m Wert bei 25°C. Das um einen Grad differierende Ergebnis läßt sich mit den unterschiedlich untersuchten Temperaturen erklären. Die tatsächlich beobachtete höchste Vermehrungsrate fand ich in kompostartiger Erde bei 21°C. Ein Grund für diesen Unterschied könnte sein, daß zur Berechnung des R_m Wertes die Entwicklung der Tiere genau beobachtet werden muß, was nur in der unnatürlichen Umgebung der Petrischalen ohne Erde möglich ist. Auch der Wert von Filipponi stammt aus Beobachtungen unter vereinfachten Bedingungen.

Für M.muscaedomestica liegt die günstigste Temperatur für die Vermehrung bei 29°C und für M.penicilliger bei 24°C.

Feuchtigkeit:

Zur Feuchtigkeitsverträglichkeit liegen keine Untersuchungen vor, die mit den Ergebnissen dieser Untersuchung verglichen werden könnten.

Nahrung:

M.muscaedomestica ist nach verschiedenen Autoren (Filipponi,1955; Karg,1971; Rodriguesz et al.,1962) auf Diptereneier und -larven sowie auf Nematoden spezialisiert. M.penicilliger hingegen frißt nur Nematoden. Ohne daß er eine direkte Beobachtung erwähnt, bot Filipponi (1969) M.peniculatus als Nahrung in seinen Zuchten eine Mischung von Diptereneiern und Nematoden an. Ich konnte für M.peniculatus nicht feststellen, daß sie Nematoden fressen. Allerdings wurden auch nur wenige Beobachtungen angestellt. Möglicherweise waren auch die angebotenen Nematoden zu klein und wurden darum nicht als Beutetiere akzeptiert.

Ein Vergleich der in der Literatur angegebenen Eifraßraten wird durch die vielfältigen Parameter erschwert, die die Räuber-Beute-beziehung beeinflussen: unterschiedliche Beutedichten, unterschiedliche Temperaturen, Alter und Ernährungszustand der Tiere, um nur einige zu nennen. So fand Axtell 1961 für Muscaedomestica bei 27°C eine tägliche Eifraßrate von 2,7 Eiern. Rodriguesz und Wade (1961) hingegen, kamen beim gleichen Tier auf 19,8 Eier pro Tag. Ihre Tiere hatten jedoch mehrere Tage nichts gefressen und die Beobachtung bezog sich auf die ersten 24 Stunden. Solimann et al. (1978) stellte für M.matrius bei 30°C eine durchschnittliche tägliche Eifraßrate von 4,5 Eiern fest. Insgesamt ergibt eine Durchsicht der Literatur, daß die gefundenen Eifraß-zahlen in der Regel unter 10 Eiern pro Tag und Tier liegen. Für M.peniculatus konnte ich bei meinen Untersuchungen, die kontinuierlich über 12 Tage bei mehreren Temperaturen liefen,

bei 25°C die höchste durchschnittliche Eifraßrate mit 19,2 Eiern beobachten. Auch die Werte der anderen Temperaturen liegen deutlich über den sonst bekannten Werten von anderen Macrocheliden (V. A 1). Dies zeigt, daß die Spezialisierung auf Diptereneier bei M.peniculatus besonders stark ausgeprägt ist, auch wenn, wie die Reproduktionsversuche gezeigt haben, eine über ein bis zwei Generationen fortgesetzte Fütterung mit Diptereneiern oder -larven, die Vermehrung stark einschränkt. M.peniculatus ist sicherlich nicht ausschließlich auf Diptereneier und -larven spezialisiert, möglicherweise frißt sie zusätzlich Nematoden, wie man nach Filipponi annehmen kann. Beobachtet habe ich außerdem, daß sie tote bzw. durch CO_2 betäubte kleinere Insekten wie Collembolen und Drosophiliden aussaugte.

Verhalten:

Von M.muscaedomestica ist bekannt, daß sie im Substrat verborgene Eier mit Hilfe eines Chemorezeptors orten kann (Filipponi,1955); (Farish, Axtell,1966). Desweiteren ist von ihr bekannt, daß sie in Richtung eines höheren CO_2 und N_2 Gehalts wandert, (bis 4,2 ml/h, Moursi,1962). Das gleiche Verhalten fand Moursi auch noch bei anderen Arthropoden (Milben und Collembolen). Hinweise, daß auch bei M.peniculatus ein solches Verhalten vorliegt, ergaben die Untersuchungen zur Bodenartpräferenz, bei denen festgestellt wurde, daß Nahrung allein die Bevorzugung von humusreicheren Böden nicht erklären kann.

Ein gerade bei Macrocheliden weitverbreitetes Phänomen ist ihre Phoresie. Als Transporttiere dienen Fliegen, Käfer und Nagetiere. Für M.peniculatus sind mir keine Phoresiefunde bekannt. Bei meinen Untersuchungen bissen sie sich jedoch gelegentlich an Pinselhaaren fest.

Interessant ist, daß M.merdarius von Chant (1960) auf der

Kohlfliege gefunden wurde, wenngleich auch nur in einer Laborzucht. Ansonsten wird sie eher auf Käfern und Nagetieren gefunden.

Zusammenfassung:

M.peniculatus zeichnet sich unter den etwas genauer untersuchten Arten aus durch ihre niedrige, optimale Vermehrungstemperatur, ihre sehr hohe Vermehrungsrate sowie durch ihre überdurchschnittliche Eifraßrate.

Perspektiven:

Es gibt noch eine ganze Reihe von Macrocheliden, von denen Karg (1971) berichtet, daß er sie, wenn auch nicht sehr häufig, im Ackerboden angetroffen hat. Leider ist keine dieser Arten - außer M.muscaedomestica - weiteruntersucht worden. Die ökologische Plastizität dieser Raubmilbengattung scheint jedoch recht beachtlich zu sein. Man findet sie in allen Bodenbiotopen: in Acker-, Wiesen- und Waldböden. Sie leben in Kompost- und Dunghäufen, in nassen sumpfigen Böden wie auch in sehr trockener Laubstreu. Sogar unter Rinden in Gesellschaft mit Borkenkäfern wurden sie gefunden (Moser, Roton,1971).

Eine systematischere Untersuchung ihrer ökologischen Potenz wäre daher sicherlich lohnenswert.

IX. 3 Verbesserung der Zucht- und Haltungsbedingungen

Eines der herausragendsten Merkmale der Macrocheliden ist ihre sehr hohe Vermehrungsrate. Die Untersuchungen an M.peniculatus haben hierbei im wesentlichen zwei Ergebnisse gebracht.

1. Für ihre Vermehrung ist sie auf Bestandteile im Humus angewiesen. Es gelang mir nicht, Milben, die in Petrischalen nur mit Dipteren-eiern aufgezogen wurden, zur Fortpflanzung zu bringen.

2. Auch mit tiefgefrorenen Eiern ließ sie sich ernähren und

vermehren. Sogar mit gefriergetrockneten Eiern, die mit Aqua dest. als Brei angeboten wurden, war es möglich, sowohl eine Eiablage zu erhalten als auch Jugendstadien aufzuziehen.

Für eine weitere Zucht von M.peniculatus ist daher zu klären, welcher Art die Stoffe sind, die zusätzlich zu den Diptereneiern benötigt werden, und welche technischen Voraussetzungen für eine Zucht auf Diätbasis geschaffen werden müssen. Einige Hinweise, welcher Art die Stoffe sein könnten, ergeben sich aus den Versuchen (VI. B). In einem kompostartigen Boden, in dem über mehr als vier Wochen mit sehr gutem Erfolg Tiere gezüchtet worden waren, ging die Vermehrungsrate innerhalb von zwei, drei Wochen bis auf fast Null zurück, so daß die Tiere in einem anderen Ansatz weitergezüchtet werden mußten. Der alte Ansatz wurde fast ein halbes Jahr trocken gelagert und dann, mehr aus Neugierde, nochmals als Zuchtsubstrat verwendet, mit dem Ergebnis, daß die Tiere wieder eine sehr hohe Vermehrungsrate zeigten. Eine Erklärung für dieses Ergebnis wäre die Beobachtung (Domsch,1963), daß Böden, die über längere Zeit im trockenen Zustand waren, nach einem stärkeren Anfeuchten eine überproportionale CO_2 Entwicklung zeigen. Diese stammt von einer verstärkten Aktivität von Mikroorganismen, für die während der Trockenzeit durch die Anreicherung von leicht oxidierbaren Substanzen, wie z.B. auch Aminosäuren, ein besonders günstiges Nährmilieu im Boden entstanden ist.

Etwas Ähnliches könnte auch im Fall von M.peniculatus vorliegen. Es ist dabei sowohl eine direkte Wirkung durch die Anreicherung von oxidierbaren Stoffen denkbar, als auch eine indirekte durch veränderte physikalische Umweltbedingungen, wie erhöhter CO_2 Entwicklung oder auch N_2 Konzentration.

Von M.muscaedomestica ist z.B. bekannt (Rodriguesz,1964), daß eine Erhöhung der N_2 Konzentration zu einer erhöhten Vermehrung führt.

Eine andere Möglichkeit wäre, daß bei einem längeren Verweilen in einem Substrat, eigene Ausscheidungsprodukte eine weitere Vermehrung verhindern, und daß diese durch eine längere Lagerung abgebaut werden.

Zu den technischen Bedingungen einer Zucht auf Diätbasis läßt sich anmerken, daß ich das gefriergetrocknete Eipulver als Brei in Kapillarröhrchen angeboten habe und die Tiere es ohne Umstände aus den Röhrchen saugten.

IX. 4 Perspektiven

IX. 4 a. biologische Schädlingsbekämpfung

Am Beispiel der Kohlfliege läßt sich gut demonstrieren, wie eine biologische Bekämpfung mit Raubmilben aussehen könnte. Da die Kohlfliegen den größten Schaden im Frühjahr anrichten (Maack,1977), zu einer Zeit, in der ihre natürlichen Feinde noch keine größere Population aufgebaut haben, kommt als biologische Bekämpfung vor allem die sogenannte Überschwemmungsmethode in Betracht. Der Grundgedanke dieser Variante der biologischen Schädlingsbekämpfung ist: Die Populationsentwicklung der natürlichen Feinde hinkt der ihrer Beutetiere immer hinterher und kann daher einer sich anbahnenden Massenvermehrung eines Schadinsektes keine sicheren Grenzen setzen. Nur das gezielte Freisetzen künstlich gezüchteter Räuber kann den Anstieg in einem solchen Fall verhindern. Erfahrungen mit dieser Art der biologischen Bekämpfung hat man vor allem mit Trichogramma, einem Eiparasiten, gesammelt. 1976 wurden allein in der UDSSR mehr als 8,3 Millionen

Hektar durch die Freilassung von Trichogramme geschützt (U.Sedlag,1980).

Auch von Prädatoren wie der Florfliege (Chrysopa spec.) gibt es lohnende Massenzuchten. Ridgway (1977) zählt noch eine ganze Reihe anderer Microarthropoden auf, die auf diese Weise gezüchtet werden. Das bekannteste Beispiel ist vor allem die Raubmilbe Phytoseiulus persimilis, die in vielen Gärtnereibetrieben wirtschaftlich gegen die Spinnmilbe eingesetzt wird.

Ein besonderes Kennzeichen der meisten Massenzuchten ist, daß die Räuber oder Parasiten nicht auf ihren natürlichen Beutetieren, sondern auf leichter züchtbaren Ersatztieren vermehrt werden. Bei Trichogramma ist es die Getreidemotte (Sitotroga cerealella) und die Mehlmotte (Anagasta kuehniella).

M.peniculatus erfüllt alle für eine Massenzucht notwendigen Voraussetzungen.

Zum einen hat sie eine sehr hohe Vermehrungsrate R_m von 1,85 täglich. Im Vergleich dazu hat die in Gewächshäusern zur Bekämpfung der Spinnmilbe eingesetzte Raubmilbe Phytoseiulus persimilis nur eine recht gering wirkende Vermehrungsrate von 0,219 (Laing,1969). Außerdem kann M.peniculatus auf der leichtzüchtbaren Hausfliege vermehrt werden. Sie nimmt auch breiartige Nahrung an und erfüllt damit die Voraussetzung für eine Zucht auf Diätbasis,, die die Handhabung der Zucht wesentlich erleichtern würde. Im Gegensatz dazu wird Phytoseiulus persimilis noch auf ihrem Beutetier gezüchtet und kann dennoch wirtschaftlich eingesetzt werden.

IX. 4 b. selektive Zuchtwahl

Weitere Perspektiven könnten in der selektiven Zuchtwahl liegen, die eine optimale Anpassung an die fremden Biotopbedingungen fördert. Bei einer derart hohen Vermehrungsrate, sollte es nicht

schwerfallen, einen Stamm mit den gewünschten Eigenschaften zu selektionieren.

Warum sollte der Mensch nicht auch Nützlinge selektionieren, die an die von ihm geschaffenen ökologischen Nischen angepaßt sind, und damit die Evolution in seinem Sinne beschleunigen? Die hauptsächliche Schwierigkeit hierbei wird sein, im Labor ackerbiotopähnliche Bedingungen zu schaffen. Ein Weg dazu sind jedoch experimentelle Bodenökosysteme, in die Kulturpflanzen gesetzt werden. Möglicherweise ließen sich sogar die Pflanzen ersetzen, indem ihre erhöhte CO_2 Produktion im Bereich der Wurzeln durch künstliche CO_2 Quellen simuliert wird.

Teil 2

Weitergehende Untersuchungen in experimentellen Ökosystemen:

die Populationsentwicklung von Collembolen bei periodischer Futterzugabe und verschiedenen Temperaturen

X. Weitergehende Untersuchungen in experimentellen Ökosystemen: Untersuchungen zur Populationsentwicklung von Collembolen bei verschiedenen Temperaturen und periodischer Futterzugabe

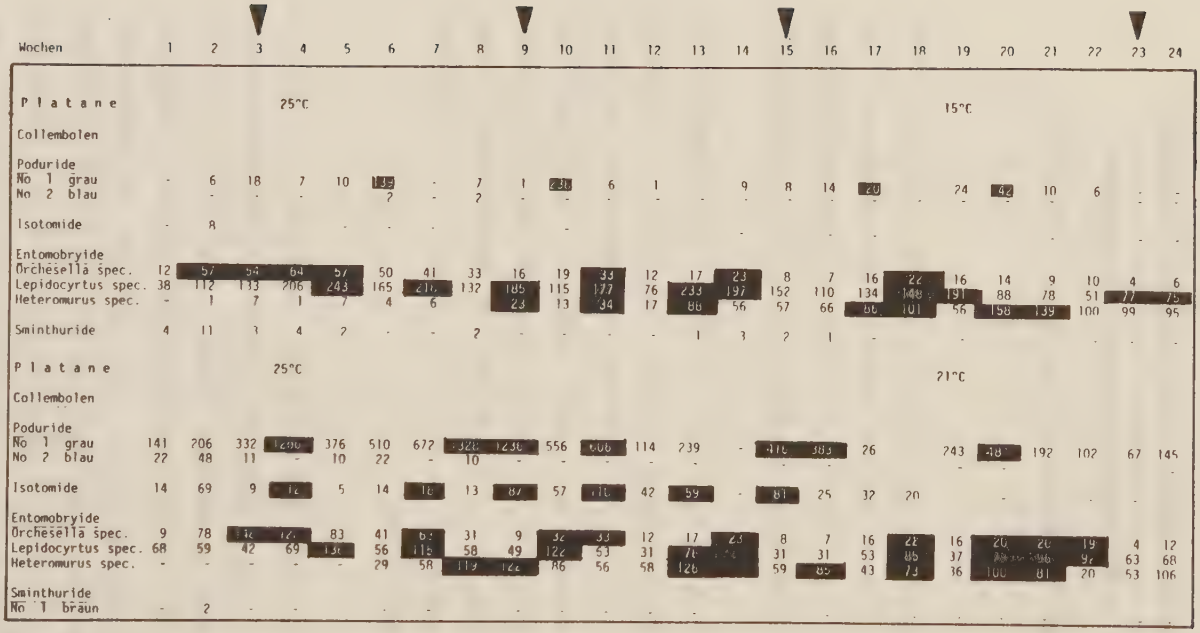
X. 1. Einleitung

Im Rahmen vergleichender Untersuchungen zum Populationsverlauf der Raubmilben, wurde auch die Populationsentwicklung der Collembolen in den gleichen Systemen mituntersucht. Diese Untersuchungen sollten, falls nötig, die Interpretation der Raubmilbenergebnisse erleichtern.

Bei der Analyse der Daten stellte sich heraus, daß die Populationsschwankungen der Raubmilben unabhängig von denen der Collembolen waren. Die hauptsächlichen Prädatoren der Collembolen, die Pergamasusarten, zeigten einen sehr stabilen Populationsverlauf, während die Anzahl der Collembolen regelmäßig schwankte. Dennoch ergab die Analyse der Collembolenpopulationskurven einige überaus interessante Ergebnisse, die aus diesem Grunde etwas ausführlicher beschrieben werden sollen.

X. 2 Methode

Die Herstellung der experimentellen Ökosysteme ist schon im ersten Teil II. B 2 c beschrieben. Es wurden drei Systemvarianten mit verschiedenem organischen Material hergestellt. Von jeder Variante gab es jeweils ein System mit und ohne Raubmilben. Der genaue Versuchsverlauf sah wie folgt aus: Im wöchentlichen Abstand wurden aus jedem der sechs Ökosysteme drei gleichmäßig über das System verteilte Bodenproben genommen. Ihre Grundfläche entsprach etwa 8 % der gesamten Fläche eines Ökosystems (Abb. 3). Neues organisches Material wurde in der Regel alle zwei

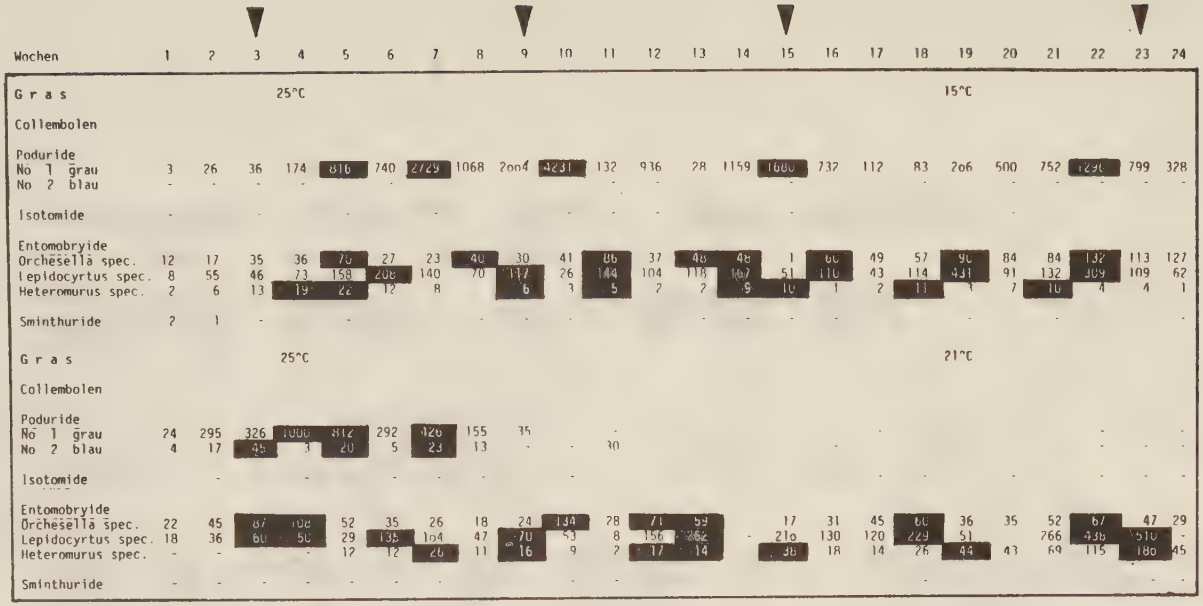


Tab.2* Populationsverlauf der Collembolen im experimentellem Ökosystem Platane

::: Maxima der Populationsschwankungen mit Werten größer und kleiner + 20% - **Collembolenzahlen:** drei Stichproben von je 55cm² Grundfläche bei 3cm Tiefe -

System 25°C -15°C mit Raubmilben; **System 25°C - 21°C** ohne Raubmilben

▼ Zugabe von 10g getrockneter Platanenblätter

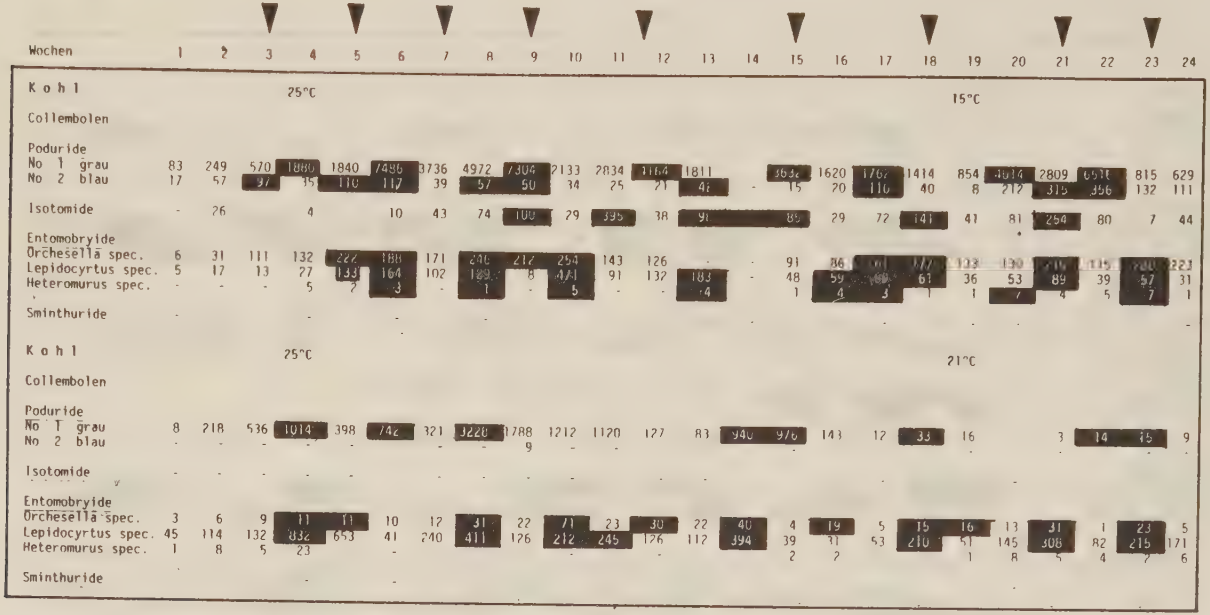


Tab.3* Populationsverlauf der Collembolen im experimentellem Ökosystem Gras

::: Maxima der Populationsschwankungen mit Werten größer und kleiner + 20% - **Collembolenzahlen:** drei Stichproben von je 55cm² Grundfläche bei 3cm Tiefe -

System 25°C -15°C mit Raubmilben; **System** 25°C - 21°C ohne Raubmilben

▼ Zugabe von 10g getrockneten Gras



Tab.4* Populationsverlauf der Collembolen im experimentellem Ökosystem Kohl

::: Maxima der Populationsschwankungen mit Werten größer und kleiner + 20% - **Collembolenzahlen:** drei Stichproben von je 55 cm^2 Grundfläche bei 3cm Tiefe -

System 25°c - 15°C ohne Raubmilben; **System 25°C - 21°C** mit Raubmilben

▼ Zugabe von 10g getrockneter Kohlblätter -

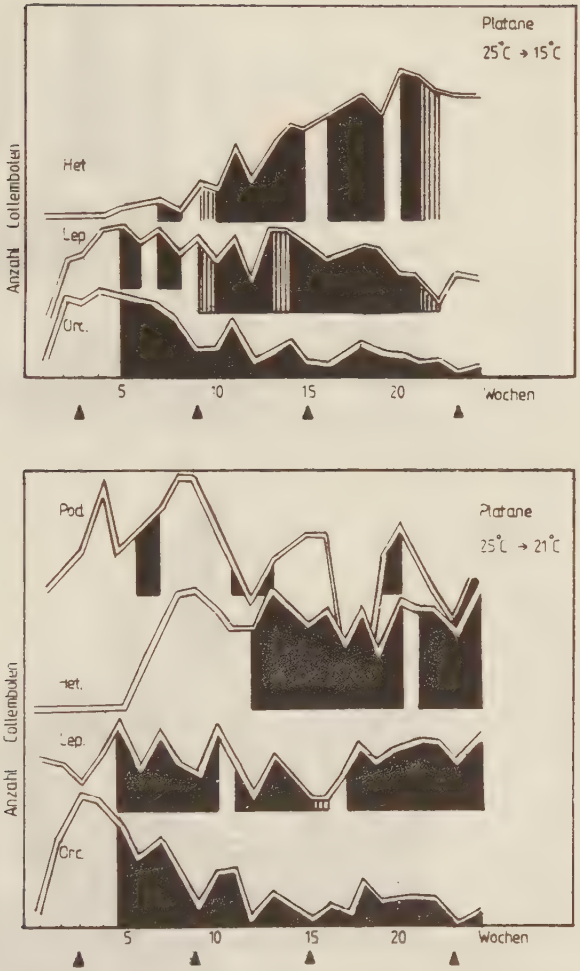


Abb.1* Populationskurven der Collembolen im Ökosystem Platane

▬ gemeinsamer Anstieg oder Abfall der Kurven mit der Populationskurve von Orchesella
System 25°C – 15°C mit Raubmilben;
System 25°C – 21°C ohne Raubmilben
Temperaturänderung ab 14. Woche – ▲ Zugabe von 10g getrockneter Platanenblätter – **Orc.** Orchesella – **Lep.** Lepidocyrtus – **Het.** Heteromurus – **Pod.** Poduriden –

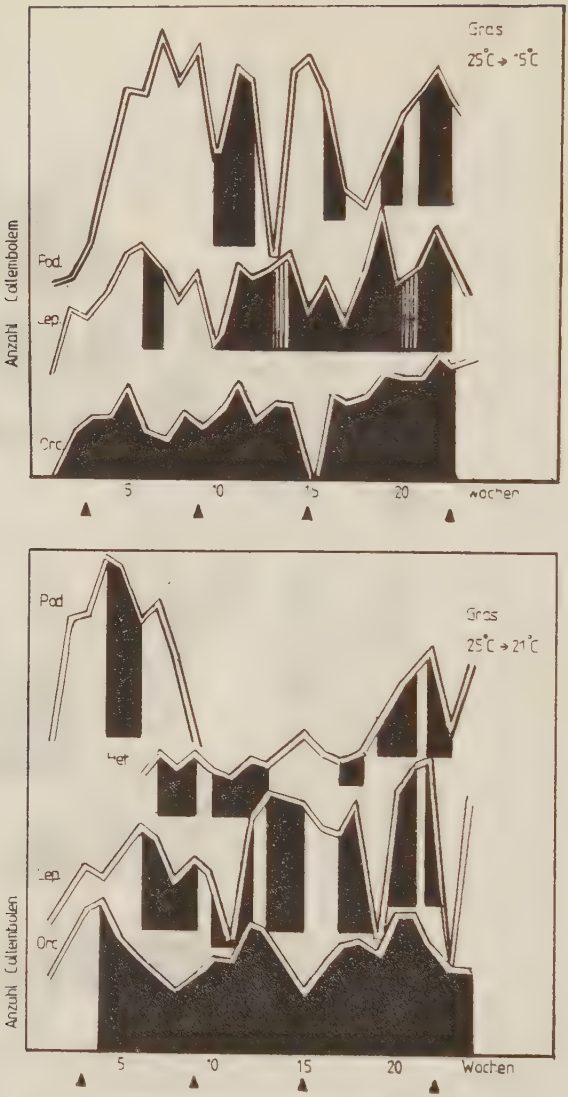


Abb.2* Populationskurven der.Collembolen im Ökosystem Gras

▬ gemeinsamer Anstieg oder Abfall der Kurven mit der Populationskurve von Orchesella

System 25°C – 15°C mit Raubmilben –
System 25°C – 21°C ohne Raubmilben –
Temperaturänderung ab der 14. Woche –
▲ Zugabe von 10g getrockneten Grases –
Orc. Orchesella – **Lep.** Lepidocyrtus –
Het. Heteromurus – **Pod.** Poduriden –

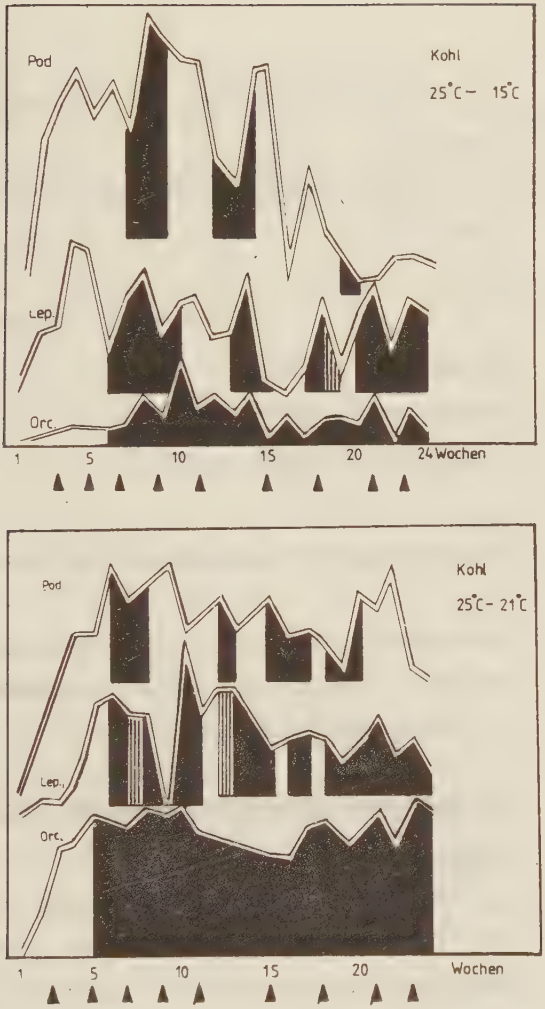


Abb.3* Populationskurven der Collembolen im Ökosystem Kohl

▬ gemeinsamer Anstieg oder Abfall der Kurven mit der Populationskurve von Orchesella
System 25°C – 15°C ohne Raubmilben
System 25°C – 21°C mit Raubmilben
Temperaturänderung ab der 14. Woche –
▲ Zugabe von 10g getrockneter Kohlblätter
Orc. Orchesella – **Lep.** Lepidocyrtus – **Het.** Heteromurus – **Pod.** Poduriden –

Wochen (System Kohlblätter) bzw. alle sechs Wochen (übrige Systeme) eingewogen.

Zur genauen Analyse wurden die Collembolen in Größenklassen eingeteilt.

	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	
Orchesella spec.	1,0	2,0	3,0	mm
Heteromurus spec.	1,0	1,5	2,0	mm
Lepidocyrtus spec.	0,5	0,8	0,8	mm

Tab. 1*
Einteilung der Entwicklungsstadien in Größenklassen

Für die Poduriden galt dieselbe Einteilung wie für Lepidocyrtus. Anzumerken bleibt, daß in jeder Größenklasse stets mehrere Entwicklungsstadien vertreten sind.

X. 3 a. gemeinsame Populationsschwankungen der Arten

Ergebnis:

Die Populationskurven aller Collembolen sind in den Abbildungen 1*, 2* und 3* und den Tabellen 2* - 4* zu sehen.

Bei einem genauen Betrachten der Schwankungen gewinnt man den Eindruck, daß die Extremwerte der verschiedenen Populationskurven häufiger als bei zufälligen Schwankungen erwartet zusammenfallen.

Der schwarze Hintergrund in den Abbildungen 1* - 3* kennzeichnet gemeinsam verlaufende Kurvenabschnitte der verschiedenen Collembolenarten mit der Orchesella spec.. Der weiße Hintergrund zeigt, wenn die Kurvenverläufe negativ zu Orchesella korreliert sind.

Beim Kurvenverlauf von Lepidocyrtus treten sehr oft schwarze Abschnitte auf. Bei den Poduriden überwiegen hingegen die weißen Abschnitte. Ihre Populationsentwicklung scheint also negativ zu Orchesella korreliert zu sein.
Im folgenden soll untersucht werden, ob die Ähnlichkeit der Kurvenverläufe abzusichern ist.

Statistische Analyse:

Hypothese 1: Die Populationsschwankungen sind auf zufällige Schwankungen bei der Stichprobeentnahme zurückzuführen. Die Standartabweichungen von jeweils drei Einzelproben eines Systems zeigt Tabelle 5*. Da bei der wöchentlichen Probeentnahme die drei Einzelproben zusammen ausgewertet wurden, konnten für sie keine Standartabweichungen bestimmt werden. Um dennoch einen Eindruck vom statistischen Schwankungsbereich zu bekommen, wurden die Standartabweichungen aus einem Feuchtigkeitsgradientexperiment mit den gleichen Systemen ausgewertet. Wegen der stärkeren Feuchtigkeitsschwankungen der Einzelproben dürfte die Standartabweichung größer als im Normalfall sein. Die auf einen Mittelwert von 10 Tieren normierte Standartabweichung hatte als geringsten Wert 0,9 und lag im Durchschnitt bei 1,53 Tieren. Der wahrscheinliche Stichprobenfehler muß also mit 95 %iger Sicherheit im Intervall von $10 \pm 1{,}98 \times 0{,}9 = 10 \pm 1{,}78$ bzw. $10 \pm 1{,}98 \times 1{,}53 = 10 \pm 3{,}03$ liegen. Dies bedeutet, daß Schwankungen bis zu 20 bzw. 3o % als zufällig zu betrachten sind.
Vergleicht man die in den Tabellen 2* bis 4* dargestellten Populationsschwankungen zum Beispiel von Orchesella, so sieht man, daß die Schwankungen in der Regel deutlich über 20 % liegen. Sie sind also nicht zufällig.

Mittelwert x	17.3	32.0	40.7	48.3	58.3	169.0
Standartabw.	1.5	6.2	8.1	7.6	10.8	15.9
Stdabw.norm. (x = 10)	0.9	1.9	2.0	1.6	1.9	0.9

Tab.5* Standartabweichungen dreier Stichproben aus den experimentellen Ökosystemen

Platane	Orc./Lep.	/Het.	/Pod.	Platane	Orc./Lep.	/Het.	/Pod.
25°C 15°C	0,30	0,08	0,10	25°C 21°C	0,71	0,31	- 0,03
Gras				Gras			
25°C 15°C	0,42		- 0,12	25°C 21°C	0,34	0,13	
Kohl				Kohl			
25°C 21°C	0,54		- 0,25	25°C 15°C	0,44		- 0,50

b.6
Korrelation der Wachstumskoeffizienten von Orchesella zu den übrigen Collembolen in den experimentellen Öko - systemen Platane, Gras und Kohl

Eine weitere statistische Analyse soll nun zeigen, ob die Gemeinsamkeiten der Kurvenverlaufs zufälliger Natur sind.

Hypothese 2: Der gleichartige Verlauf und das Zusammenfallen der Extremwerte der Populationskurven ist zufällig.

Um diese Hypothese zu prüfen, wurde der Wachtumskoeffizient r von jeder Art für jede Woche berechnet. Er ergibt sich aus der Formel $\ln A_{t+1} / \ln A_t = r$. A_t bedeutet Anzahl der Individuen zum Zeitpunkt t. Trägt man nun die vergleichenden Werte zweier Collembolenarten als x,y Paar in ein Koordinatensystem ein, so läßt sich, wenn es eine direkte Beziehung zwischen den Schwankungen der beiden Populationen gibt, eine Gerade bestimmen, die den linearen Zusammenhang zwischen den Populationsschwankungen angibt. Der Korrelationskoeffizient ist ein Maß für die Genauigkeit der Geradenanpassung oder anders ausgedrückt, für das Maß der Übereinstimmung zwischen den Schwankungen beider Populationen. Er ist für den Vergleich der Populationsschwankungen von Orchesella mit den übrigen Collembolen in Tabelle 6* angegeben. Zwischen Orchesella und Lepidocyrtus gibt es eine positive Korrelation von 0,30 bis 0,71 in den verschiedenen Systemen.

Für die Beziehung zwischen Orchesella und Poduriden läßt sich keine bis eine negative Korrelation von - 0,50 ausmachen. Zwischen Orchesella und Heteromurus ist keine sichere Korrelation festzustellen, wenn man von dem schwach positiven Wert von 0,31 absieht. Dies ist auch kaum zu erwarten, weil Heteromurus eine in allen Systemen stetig wachsende Population ist, während die anderen Populationen alle im Gleichgewichtszustand sind. Nur in dem einen Fall, bei dem auch die Heteromuruspopulation um einen mittleren Wert schwankt (Abb. 1a*), findet sich auch die höchste Korrelation der Populationsschwankung zu Orchesella mit 0,31.

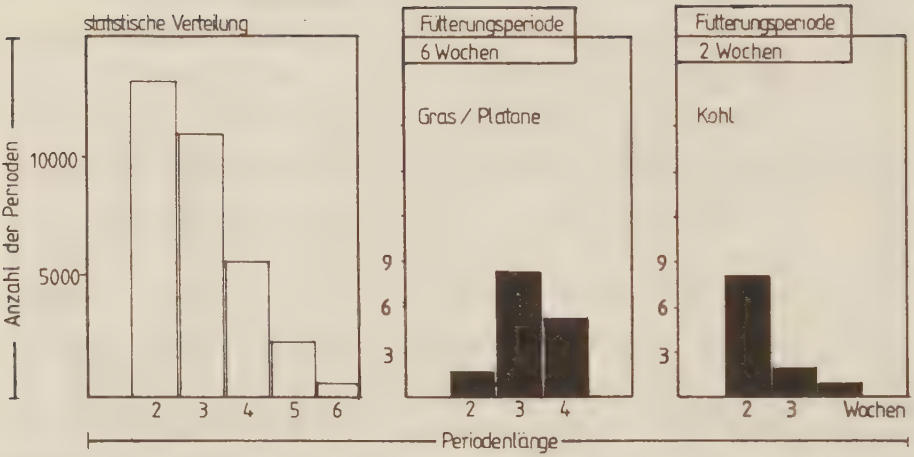


Abb4* Verteilung der Periodenlängen der Populationsschwankungen unter Zufallsbedingungen und periodischer Fütterung

Eine durchschnittliche Korrelation von 0,30 bis 0,70 ist zwar nicht sehr groß, da diese Korrelation aber für den parallelen Verlauf der Kurven gilt, ist sie für einen gemeinsamen Verlauf, bei dem die Steigungen nur in ihrer Tendenz übereinstimmen müssen, als sicher anzusehen und wird durch die deutlichen und konstanten Unterschiede zwischen den Arten nochmals bekräftigt.

X. 3 b. Periodenlänge der Populationsschwankungen

X. 3 b.a. Gesamtpopulation

Ergebnis:

Beim Betrachten der zeitlichen Abstände der Maximas der einzelnen Populationsschwankungen in den Abbildungen 1* bis 3* fällt die starke Häufung der Periodenlänge von 3 Wochen auf. In der Abbildung 4* sieht man für Orchesella die Verteilung der Periodenlängen im Vergleich zu der erwarteten Zufallsverteilung.

In den Systemen Gras, Platane ist die Zahl der 3er Perioden viermal häufiger als die 2er Periode. Für das System Kohl gilt das gleiche Verhältnis zwischen 2er und 3er Perioden umgekehrt zugunsten der Periodenlänge von 2 Wochen. Die Prüfung der Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines derartigen Verhältnisses ergab in beiden Fällen eine Wahrscheinlichkeit unter 5 %.

Das statistische Verfahren ist nachfolgend dargestellt:

statistische Auswertung:

Es sollte geprüft werden, ob die gefundene Abweichung der Verteilung der Periodenlängen von der statistischen Verteilung als zufällig angesehen werden kann. Mit dem Zufallsgenerator eines Microcompoters (Prozessortyp Z8o A) wurden Zahlen zwischen 1 und 20 bestimmt und aus drei aufeinanderfolgenden Zahlen die

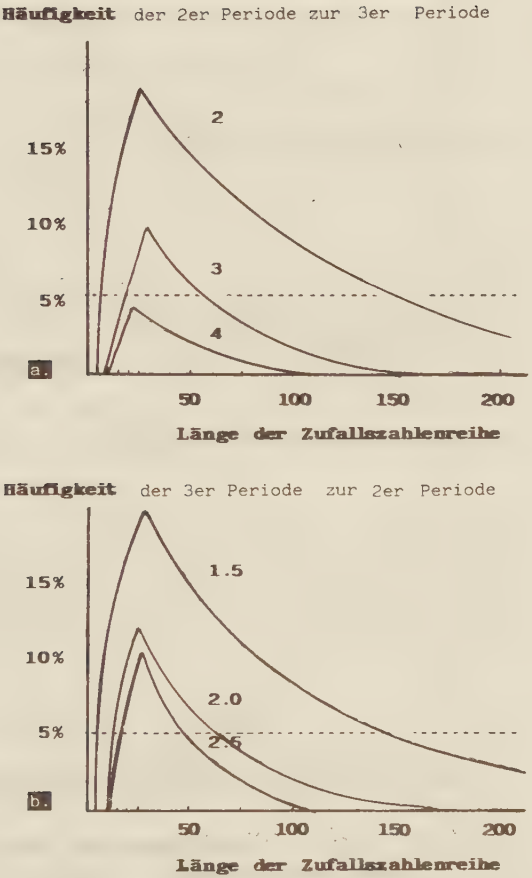


Abb.5* Wahrscheinlichkeitskurven für das anteilsmäßige Auftreten einer zwei- oder dreiwöchigen Populationsschwankung

a. die prozentuale Wahrscheinlichkeit für ein zwei-, drei-, oder vierfach häufigeres Auftreten einer zweiwöchigen Periode gegenüber einer dreiwöchigen Periode
b. die Wahrscheinlichkeit für ein 1.5-2.0-, 2.5 fach häufigere Auftreten einer dreiwöchigen Periode gegenüber einer zweiwöchigen

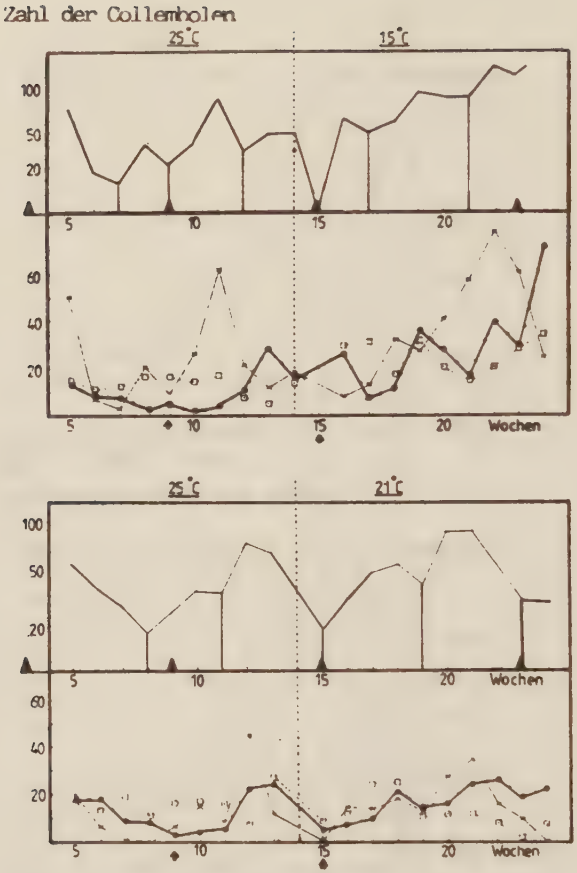


Abb.6* Populationsschwankungen von Orchesella im experimentellem Ökosystem Gras

die obere Kurve in jeder Abbildung: Gesamtpopulation - **die untere Kurve** in jeder Abbildung: die einzelnen Größenklassen

× kleinste Größenklasse - ● mittlere Größenklasse - □ Adulte - ▲ 10g Gras zugefügt -

Summe gebildet. Dies entspricht dem Vorgehen bei der Probeentnahme, bei der auch aus drei Einzelproben eine Summe gebildet wurde. Anschließend wurden dann die Abstände der Maximas bestimmt. Ihre Verteilung ist in Abbildung 4* als statistische Verteilung dargestellt. Sie stammt aus 1000 Wiederholungen von 200 Zufallszahlen. Um die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten der gefundenen Verteilung zu ermitteln, wurden Zufallsreihen unterschiedlicher Länge generiert und die Wahrscheinlichkeit für verschiedene Zahlenergebnisse von 2er und 3er Perioden bestimmt. Abbildung 5a* gibt die Wahrscheinlichkeit für eine größere Anzahl 2er Perioden an und Abbildung 5b* die Wahrscheinlichkeit für das umgekehrte Verhältnis.

Bei der Systemvarianten Kohl wurden 48 Zufallszahlen untersucht, bei den Systemen Gras und Platane waren es 96 Zufallszahlen. In beiden Fällen tritt die gefundene Verteilung deutlich weniger als in 5 % der Fälle auf. Die Abweichungen sind also signifikant von der Zufallsverteilung unterschieden.

X. 3 b.b. Populationsschwankungen der einzelnen Größenklassen

Ergebnis:

Wenn die gefundenen periodischen Schwankungen tatsächlich populationsdynamisch bedingt sind, sollten sie sich auch bei den verschiedenen Größenklassen nachweisen lassen.

Abbildung 6* zeigt für die Systemvariante Gras den Verlauf der Populationskurven der einzelnen Größenklassen. Die stärksten Schwankungen der Individuenzahlen treten in der kleinsten Größenklasse auf. Es sind im wesentlichen zwei sehr hohe Maxima zu erkennen, die im 9- bis 10-wöchigen Abstand folgen. Dazwischen liegen noch ein, zwei kleinere Maxima . Es fällt auf, daß dem

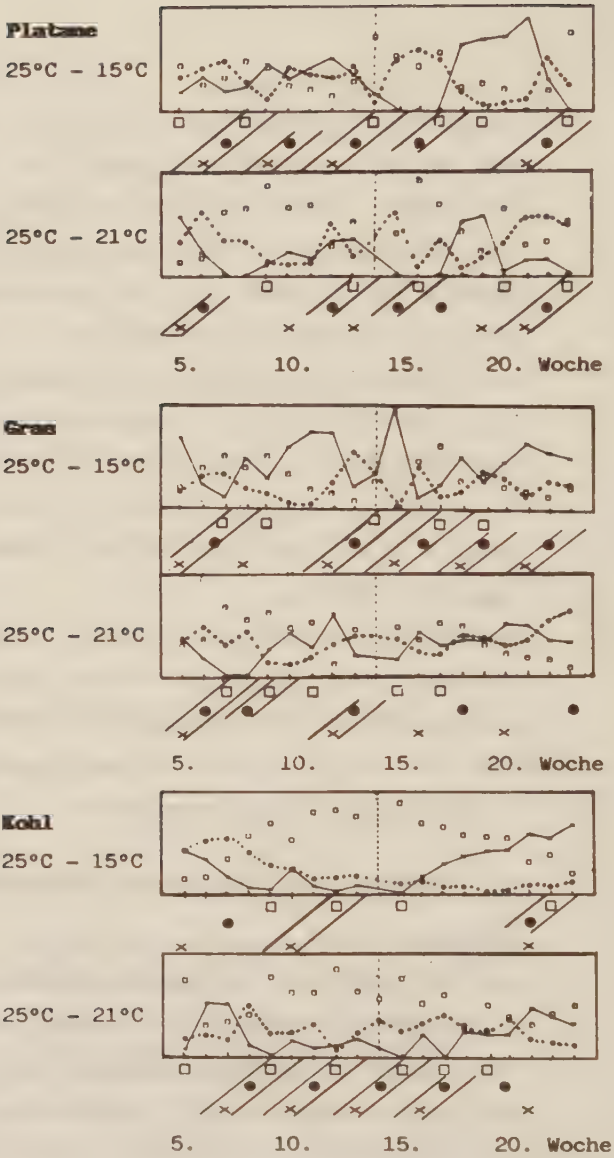


Abb.7* Populationsschwankungen der einzelnen Größenklassen innerhalb der Gesamtpopulation

die Skalierung der Ordinaten: von 0 bis 100 Prozent
unterhalb jeder Kurve: zeitliches Erscheinen der Maximas der einzelnen Größenklassen - × jüngste Klasse - ● mittlere Klasse - □ älteste Klasse

	Orchesella	Lepidocyrtus	Poduriden
15°C	3.00 (0.57)	3.00 (0.67)	3.50 (2.25)
21°C	2.86 (0.70)	3.50 (0.92)	5.00 (--)
25°C	2.77 (0.49)	2.68 (0.43)	3.22 (0.40)

Tab.7* Durchschnittliche Periodenlänge bei drei Temperaturen mit Standartabweichung

15°C

Gewicht bei	**Beginn**	bei **Ende**	**Verlust**
Platane	4.65	3.82	**17.8%**
Gras	4.51	3.96	**16.3%**
Kohl	4.51	3.30	**26.9%**

21°C

Gewicht bei	**Beginn**	bei **Ende**	**Verlust**
Platane	4.82	1.85	61.6%
Gras	4.66	2.59	55.6%
Kohl	4.75	1.90	60.0%

Tab.8* Celluloseabbau bei 15°C und 21°C

Dauer 6 Wochen - pro System drei Ansätze - Material Baumwolle -

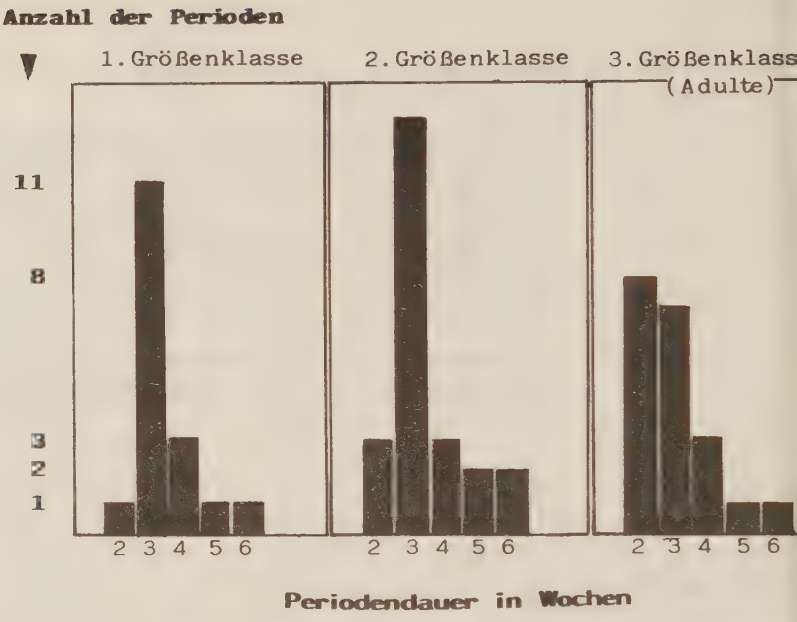


Abb.8* Verteilung der Periodenlänge der Population schwankungen bei den drei Größenklassen v Orchesella

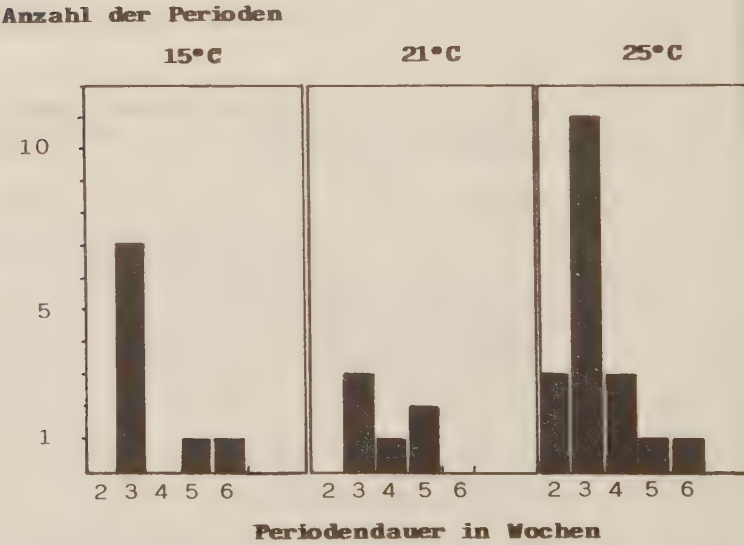


Abb.9* Verteilung der Periodenlänge der Population schwankungen der beiden ersten Größenklass bei drei Temperaturen

Abfall der kleinsten Größenklasse in 8 von 9 Fällen ein Anstieg der nächstgrößeren in der folgenden Woche folgt.

Um den Anteil der Größenklassen auch bei einer unterschiedlich großen Anzahl der Gesamtpopulation besser vergleichen zu können, stellte ich den prozentualen Anteil der Größenklassen an der Gesamtpopulation in Abbildung 7* dar. Sie bestätigt, daß in der Regel dem Maximum der kleinsten Klasse ein Maximum der mittleren Klasse in der nächsten Woche folgt.

Desweiteren wertete ich die einzelnen Abstände der Maximas, getrennt für die drei Größenklassen, (Abb. 8*), aus. Für die erste und zweite Größenklasse ergibt sich eine starke Häufung einer dreiwöchigen Periode. Für die dritte Größenklasse, die Adulten, gleicht die Verteilung der Periodenlängen der einer statistischen (Abb. 4*).

X. 3 b.c. Der Einfluß der Temperatur auf die Populationsschwankungen

Ergebnis:

Die Tabelle 7* zeigt die Mittelwerte der Periodenlänge bei verschiedenen Temperaturen und ihre Standartabweichung. Die Abweichungen der Mittelwerte fallen stets in den Bereich der einfachen Standartabweichung.

In Abbildung 9* ist die dreiwöchige, kontinuierliche Schwankung bei verschiedenen Temperaturen dargestellt. Ein Einfluß der Temperatur ist nicht zu erkennen. Verdeutlicht wird das Ergebnis wenn man den Einfluß der Temperatur auf biochemische Prozesse betrachtet. Nach der Q 10 Regel kommt es bei einer Temperaturerhöhung von 10°C zu einer Beschleunigung um das Zwei- bis Dreifache. Tabelle 8* zeigt das auch deutlich an der gefundenen Abbaurate des organischen Materials bei 15°C und bei 21°C.

	Orchesella	Lepidocyrtus	Poduriden
Platane	3.63 (0.23)	3.09 (1.72)	3.75 (0.44)
Gras	3.22 (1.28)	3.18 (0.69)	3.25 (1.19)
Kohl	2.36 (0.41)	2.81 (0.51)	2.73 (0.74)

Tab.9* Durchschnittliche Periodenlänge der Populationsschwankungen bei unterschiedlichen Fütterungsintervallen

- Platane, Gras - :sechswöchiges Fütterungsintervall
- Kohl - :zwei- und dreiwöchiges Fütterungsintervall

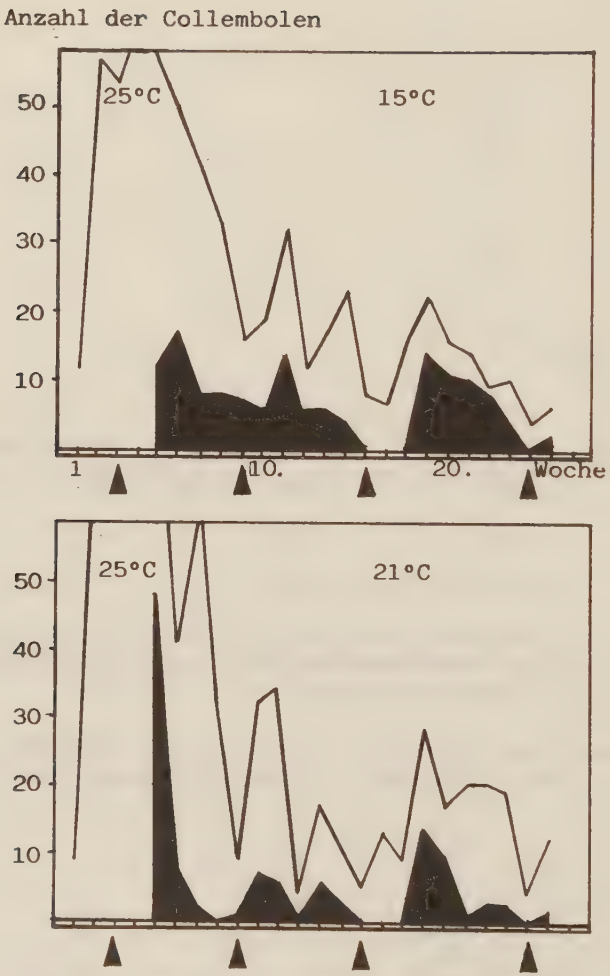


Abb.10* Einfluß des Fütterungsintervalls auf die Populationsschwankung von Orchesella im Ökosystem Platane

alle Tiere - kleinste Größenklasse - Zugabe von 10g getrockneter Platanenblätter

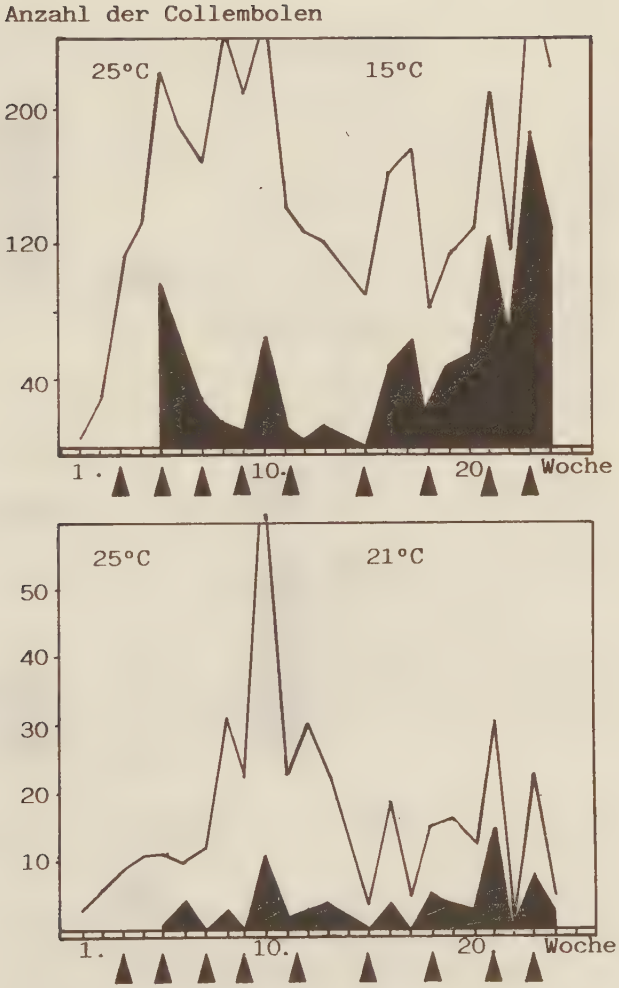


Abb.11* Einfluß des Fütterungsintervalls auf die Populationsschwankung von Orchesella im Ökosystem Kohl

alle Tiere – kleinste Größenklasse – Zugabe von 10g getrockneter Kohlblätter

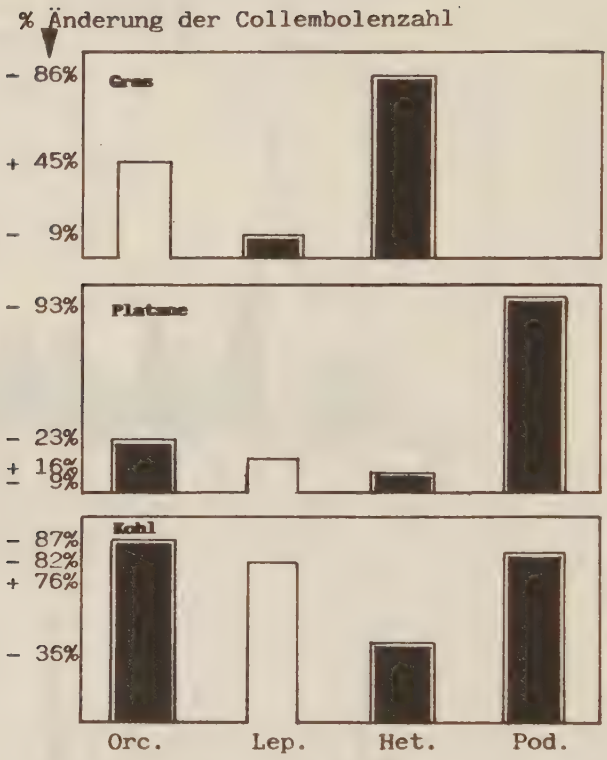


Abb.12* **Wirkung der Raubmilben auf die Anzahl der Collembolen**

Zunahme - Abnahme

Vergleich von einem System mit Raubmilben und einem System ohne Raubmilben - 72 Stichproben aus jedem System - **Dichte der Raubmilben auf 100cm²:** - Gras 5.76 Raubmilben - Platane 1.87 Raubmilben - Kohl 14.09 Raubmilben - **Orc.** Orchesella - **Lep.** Lepidocyrtus - **Het.** Heteromurus - **Pod.** Poduride -

X. 3 **b.d. Der Einfluß der periodischen Fütterung auf die Populationsschwankungen**

Ergebnis:

Die Analyse der Populationsschwankungen nach dem Einfluß des Füterungsintervalls ergab, (Tab.9*), daß im System Kohl mit einem Fütterungsintervall von 2 bis 3 Wochen auch die Periodenlänge der Populationschwankungen zwischen 2 und 3 Wochen lag. Bei einer periodischen Fütterung von 6 Wochen in den Systemen Platane und Gras lag sie in allen Fällen über 3 Wochen und unterschied sich damit deutlich von dem Ergebnis bei einer 2 wöchigen Fütterung im System Kohl. Sie war aber auch deutlich kleiner als die periodische Fütterung in diesen Systemen.

Abbildungen 10* und 11* zeigen dies nochmals in einem Vergleich der Populationsschwankungen der Gesamtpopulation mit denen der ersten Größenklasse. Man sieht, daß nach einer Futterzugabe zeitlich um eine bis zwei Wochen versetzt ein Maximum der ersten Größenklasse folgt, das fast stets mit dem Maximum der Gesamtpopulation zusammenfällt. Man sieht aber auch, daß es Populationsmaxima ohne Futterzugabe gibt.

X.3 **c. Der Einfluß der Raubmilben auf die Populationsdichte der Collembolen**

Ergebnis:

Die Auswirkung der Raubmilben (Pergamasusarten) auf die Anzahl der Collembolen gibt Abbildung 12* wieder. Zum Vergleich wurden die Collembolenzahlen der beiden Systemvarianten mit und ohne Raubmilben zueinander ins Verhältnis gesetzt und die prozentuale Zunahme oder Abnahme im System mit Raubmilben bestimmt. Im System Gras ohne Raubmilben starben die Poduriden nach der 12. Woche aus. Auch die anderen Arten waren in ihrer Vitalität

etwas eingeschränkt. Daher sind nur die Systeme Platane und Kohl für den Vergleich geeignet. Interessanterweise zeigte die Lepidocyrtusart im Gegensatz zu den anderen Arten eine Zunahme in den Sytemen mit Raubmilben. Dabei zeigte sie die größte Zunahme im System mit den meisten Raubmilben.

X. 4 Diskussion der Ergebnisse

Die untersuchten Collembolenpopulationen befanden sich bis auf zwei Ausnahmen im Gleichgewichtszustand. Sie hatten die obere Grenze ihrer Populationsstärke in den Systemen erreicht und schwankten um einen mittleren Wert (Abb. 1* - 3*). Unter diesen Umständen ist es nicht verwunderlich, daß periodische Futterzugaben zu periodischen Schwankungen führen. Sie beweisen nur, daß die Nahrung einer der wesentlichen begrenzenden Faktoren für die Populationsentwicklung in diesen Systemen war.

Interessant waren jedoch zwei Punkte der Ergebnisse: 1. Die drei Entomobryidenarten zeigten gleichgerichtete, positiv korrelierte Schwankungen, die eine Koexistenz bei geringer Nahrungsspezialisierung vermuten ließen. 2. Trotz eines Fütterungsintervalls von sechs Wochen, wurde eine Populationsschwankung von etwa drei Wochen beobachtet. Dies deutete auf eine eigenständige periodische Synchronisierung der Reproduktion hin.

X. 4 a. die gemeinsamen Populationsschwankungen der Collembolen oder das Problem der geringen Nahrungsspezialisierung unter Konstantbedingungen

Die Untersuchungen zeigen, daß die verschiedenen Arten über den ganzen Untersuchungszeitraum unter Konstantbedingungen nebeneinander in den experimentellen Ökosystemen lebten. Da statistische Gründe für die Populationsschwankungen ausscheiden, können die gemeinsamen gleichgerichteten Populationsschwankungen nur mit einer geringen Nahrungsspezialisierung der Collembolen erklärt werden. Die geringe Nahrungsspezialisierung der Collembolen wurde schon von anderen Autoren, hauptsächlich durch Darmuntersuchungen, nachgewiesen (McMillan, 1975; Gilmore und Raffensperger, 1970; Singh, 1969). In meinen Untersuchungen wird sie darüberhinaus auch durch die gleichartige Zusammensetzung der Collembolen-

arten in den verschiedenen experimentellen Ökosystemen trotz unterschiedlicher organischer Nahrungsbasis unterstrichen. Die Frage war nun, wie es trotz geringer Nahrungsspezialisierung über längere Zeit zu einer Koexistenz der verschiedenen Arten kommen kann. Auffällig ist, daß bei den Entomobryiden nur Arten unterschiedlicher Größe dominieren, obwohl bei der Etablierung der Ökosysteme auch andere Arten von etwa gleicher Größe vorkamen. Der Grund der Koexistenz könnte also in der unterschiedlichen Größe der Adulten liegen, die eine gewisse Spezialisierung ermöglicht. Sicher ist, daß die Adulten der größeren Arten wegen ihrer kräftigeren Mandibeln in der Lage sind, Nahrung zu sich zu nehmen, die für die kleineren nicht verwertbar ist.

Da es wegen der gemeinsamen Populationsschwankungen keine vollständige Spezialisierung der Nahrungsbedürfnisse geben kann, wäre nur eine zeitweise Nahrungsspezialisierung denkbar. Bei Nahrungsknappheit weichen die verschiedenen Arten auf Nahrungsbereiche aus, die für andere Arten nicht zugänglich sind und bei Nahrungsüberschuß versuchen sie, möglichst viel von der angebotenen Nahrung aufzunehmen. Unter diesen Umständen könnte es trotz einer geringen Nahrungsspezialisierung zu einer Koexistenz der Arten kommen.

Eine andere, spekulative Erklärung für die gleichgerichteten Populationsschwankungen läge in einem Selbstregulationsmechanismus der Arten. Nimmt man an, daß mit steigender Populationsdichte der innerartliche Konkurrenzdruck größer wird als der von anderen Arten, so ist es möglich, daß auch die Fitnesswerte abnehmen und es trotz gemeinsamer Nahrungsansprüche zu einem Gleichgewicht mit einer anderen Art kommen kann, die eine niedrigere Fitness hat. Ein Mechanismus dieser Art könnte das Aggregations-

verhalten der Collembolen darstellen, das bei Tieren gleicher Art zu einer klumpförmigen Verteilung führt. Auch eine solche Art der Populationskontrolle könnte die periodisch gemeinsamen Schwankungen verschiedener Arten erklären. Die Untersuchungen zeigen, unabhängig von der tatsächlichen Erklärung der Populationskontrolle, daß selbst bei einer geringen Nahrungsspezialisierung ein Populationsgleichgewicht ohne die bekannten begrenzenden Faktoren, wie Temperatur, Feuchtigkeit und Räuber möglich ist. Die untersuchten Tiere leben alle im oberen Bereich des Ackerbodens, in dem es zu starken Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen kommt. Daher dürfte die Anpassung an einen begrenzten Temperatur- und Feuchtigkeitsbereich für sie nicht günstig sein. Das wirft aber die Frage auf, wieso es trotz fehlender Kontrolle durch Temperatur, Feuchtigkeit zu keiner stärkeren Nahrungsspezialisierung der Collembolen gekommen ist. Man sollte doch annehmen, daß gerade, wenn der Nahrung eine entscheidende regulative Rolle zufällt und sie der wesentlich begrenzende Faktor für die Populationsentwicklung ist, sie auch einen entscheidenden Einfluß auf die ökologische Artenbildung nehmen müßte.

X. 4 **b. die periodische Synchronisierung der Reproduktion und ihre Temperaturunabhängigkeit**

Die Untersuchungen zeigten, daß die gefundene Verteilung der Populationsschwankungen signifikant von einer statistisch zufälligen Verteilung abweicht. Sie zeigten auch den Einfluß des Fütterungsintervalls auf die Periodenlänge. In den Systemen mit zweiwöchiger Nahrungszugabe war die Schwankung deutlich kürzer als in den Systemen mit sechswöchiger Nahrungszugabe. Dennoch stimmte die mittlere Populationsperiode in keinem Falle exakt mit dem Füt-

terungsintervall überein. Bei einer zweiwöchigen Fütterung lag sie zwischen zwei und drei Wochen und bei einer sechswöchigen bei über drei bis vier Wochen. Möglich wäre unter diesen Umständen, daß dem Einfluß des Fütterungsintervalls eine statistische Schwankung überlagert wurde. Eine Analyse der zeitlichen Abfolge der einzelnen Größenklassen zeigt jedoch über alle Systeme eine kontinuierliche dreiwöchige periodische Schwankung. Im System Gras (Abb. 6*) konnte die zeitliche Verschiebung der Maximas der ersten und zweiten Klasse direkt gezeigt werden. Für die anderen Systeme wurde sie nach einer Darstellung des prozentualen Anteils jeder Klasse an der Gesamtpopulation deutlich (Abb. 7*).

Die gefundene dreiwöchige Periode läßt sich nicht entwicklungsbiologisch erklären, da sie temperaturunabhängig war. Mertens und Blancquaert (1980) fanden, daß sich die Entwicklungsrate von Orchesella cincta zwischen 15°C und 25°C fast verdreifacht. **Eine periodische Synchronisierung der Eiablage, die stark temperaturkompensiert sein muß, kann hingegen die vorliegenden Daten erklären.** Die Voraussetzung, daß es zu einer statistisch absicherbaren Schwankung einzelner Größenklassen kommt, ist ohne Frage eine Synchronisierung der Eiablage der adulten Weibchen. Joosse und Testerink (1977) fanden bei Orchesella cincta, daß es nach Hungerperioden zu einer synchronisierten Fraßtätigkeit kam, der dann in der Tat auch eine synchronisierte Reproduktion folgte. Die Frage ist nun, wie die Periodizität der synchronisierten Eiablage zu erklären ist, wie sie sich aus den vorliegenden Daten ergibt.

Die Synchronisierung der Eiablage führte zu einem Maximum der ersten Größenklasse. Da die Nahrung der einzig populationsdynamisch

wirksam begrenzende Faktor war, bewirkte dieser Populationszuwachs ein starkes Abweiden der Nahrungsgrundlage mit der Folge, daß ein Teil der Population - hauptsächlich die erste Größenklasse - starb. Die Adulten haben eine nachgewiesene höhere Hungerresistenz (Joosse, Testerink 1977). Das um ein bis zwei Wochen verschobene Maximum der zweiten Größenklasse hat vermutlich seinen Grund in einer etwas höheren Hungerresistenz, so daß sie etwas länger als die erste Größenklasse überlebt. Aus dem Abstand der Populationsmaxima der beiden Größenklassen auf ihre Entwicklungsdauer zu schließen, ist jedoch auf keinen Fall statthaft. Die Voraussetzungen unter denen ein solcher Schluß möglich wären liegen nicht vor. Es ist nicht auszuschließen, daß Parameter wirksam sind, etwa die Hungerresistenz, die die Größenklassen in unterschiedlichem Maße treffen.

Denkbar ist, daß der Tod der Jungtiere, die wie ich beobachten konnte von den Adulten gefressen werden, ebenso wie eine direkte Nahrungszufuhr zu einer synchronisierten Reproduktion führt. Zu klären wäre, ob die daraus herzuleitende Periodik mit der beobachteten dreiwöchigen Periode in Übereinstimmung zu bringen ist. Lindemann (1950) stellte für Orchesella cincta eine Entwicklungsdauer der Eier bei 24°C von einer Woche fest. Bei 15°C lag sie bei zwei Wochen. Bei einer temperaturunabhängigen Überlebensdauer von etwa einer Woche ergibt sich dann eine Periode von zwei bzw. drei Wochen. Bei einer einwöchigen Probeentnahme ist ein solcher Unterschied kaum eindeutig zu unterscheiden. **Diese Darstellung könnte sowohl die gefundene Temperaturunabhängigkeit erklären als auch die kleinere dreiwöchige Populationsschwankung bei einem Fütterungsintervall von sechs Wochen.**

Die Synchronisierung der Reproduktion, wie sie für Orchesella nachgewiesen wurde, läßt sich als konsequente Folge des Zwangs

interpertieren, in einem Biotop mit knappen Nahrungsresourcen bei zeitweisem Nahrungsüberschuß so viel wie möglich fressen zu müssen.

Unter Konstantbedingungen wird daher jede Nahrungszufuhr zu einem zeitlich versetzten Populationswachstum führen. Joosse und Testerink (1977) meinen aber in einer abschließenden Diskussion ihrer Arbeit, daß eine Synchronisierung der Fraß- und Reproduktionstätigkeit die stabilisierende Wirkung der Nahrung auf die Population einschränkt, und daß die Population daher durch andere limitierende Faktoren wie Räuber oder Bodenfeuchtigkeit reguliert werden muß.

Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, daß dies nicht der Fall sein muß. Trotz konstanter Bedingungen über fast ein halbes Jahr, konnten mehrere Collembolenarten nebeneinander existieren, obgleich nur die Nahrung als limitierender Faktor eine Rolle spielte. Die Synchronisierung der Reproduktion führte also nicht zu einer Destabilisierung des Systems. Dies läßt sich darauf zurückführen, daß die Synchronisierung der Reproduktion die Biotopbedingungen nicht wesentlich verändert. In einem Biotop mit knappen Nahrungsresourcen und starker Nahrungskonkurrenz kann es keine kontinuierliche Nahrungsversorgung geben. Daher erhöht sich die Konkurrenzfähigkeit einer Art, wenn sie möglichst viel bei Nahrungsüberschuß frißt und die überhöhte Nahrungsaufnahme direkt zur Eiproduktion verwertet.

Durch den schnellen und starken Anstieg der Population werden die periodisch guten Nahrungsbedingungen zwar schneller beendet, da aber größere Collembolen ihre toten Artgenossen fressen können, wirkt die Synchronisierung kaum destabilisierend.

Zu beantworten bleibt noch die offene Frage des vorherigen Abschnit-

tes, weshalb es trotz der großen Bedeutung der Nahrung als limitierenden Faktor der Populationsentwicklung zu keiner stärkeren Nahrungungsspezialisierung der Collembolen gekommen ist. Die Frage geht von der Vorstellung aus, daß die artspezifischen Nahrungsbereiche, auf die die einzelnen Arten bei Nahrungsknappheit ausweichen können, stetig vorhanden sind. In einem Biotop mit knappen Nahrunugsresourcen, wie dem Ackerbodenbiotop, sind jedoch alle Nahrungsbereiche knapp. Eine hohe Nahrungsspezialisierung würde unter diesen Umständen zu einer vergrößerten Existenzbedrohung und daher öfters zu einem lokalem Aussterben der Art führen.

X. 6 Zusammenfassung der Ergebnisse zur Populationsdynamik der Collembolen bei periodischer Futterzugabe unter Konstantbedingungen in experimentellen Ökosystemen

a. Methoden:

Versuchsbedingungen:

Versuchsdauer: 24 Wochen

Versuchsausführung: - 3 Systemvarianten mit unterschiedlichem organischen Material als Nahrungsgrundlage
- von jeder Varinaten zwei parallele Ansätze mit und ohne Raubmilben (Pergamasusarten)

periodische Futterzugabe: - Intervall 2 bis 3 Wochen oder 6 Wochen

Temperaturänderung: nach der 14. Woche; 25°C - 15°C, 25°C - 21°C

Analyse:

Stichproben: - wöchentliche Entnahme - 3 Stichproben pro Ansatz - Erdvolumen pro Stichprobe: 55cm² x3cm

Auszählung: - CO_2 Betäubung - Ordnen der Entwicklungsstadien in Größenklassen - nach Auszählung in die Systeme zurück

statistische Auswertung:

Korrelation der Wachstumskoeffizienten: durch lineare Regression

periodische Populationsschwankungen: Prüfen der Periodenhäufigkeit an einem statistischen Model

b. Ergebnisse:

gemeinsame gleichgerichtete Populationsschwankungen zwischen den Entomobryiden

1. Lepidocyrtus: positive Korrelation des Kurvenverlaufs zu Orchesella (Korrelationskoeffient von 30 bis 71)

2. Heteromurus: bei stetig wachsenden Populationen keine Korrelation zu Orchesella – bei Population im Gleichgewichtszustand schwache positve Korrelation (Koeffizient von 31)
3. Poduride: negative Korrelation zu Orchesella (Koeffient bis zu – 50)

2. **Temperaturunabhängigkeit der Populationsschwankungen**

a. Gesamtpopulation: Abweichung der Mittelwerte der Schwankungen zwischen 15°C und 25°C innerhalb der einfachen Standardabweichungen –
b. erste und zweite Größenklasse: eine eindeutige 3 wöchige Periode bei 15°C und 25°C, bei 21°C schwaches Überwiegen der 3 wöchigen Periode

3. **Einfluß des Fütterungsintervalls auf die Populationsschwankungen**

a. zweiwöchiges Fütterungsintervall: bei allen Collembolenarten Periodenlänge unter 3 Wochen, am deutlichsten bei Orchesella mit 2.36 Wochen (Standardabweichung 0.41)
b. sechswöchiges Fütterungsintervall: bei allen Collembolen Periodenlängen über drei Wochen, am deutlichsten Orchesella mit einer Periodenlänge von 3.63 Wochen bei einer Standardabweichung von 0.23.
3. erste Größenklasse: oft direkter Anstieg der Anzahl nach Nahrungszugabe

4. **Eigenständigkeit der periodischen Populationsschwankungen**

a. eindeutige dreiwöchige Periode bei der anteilsmäßigen Schwankungen der ersten und zweiten Größenklasse innerhalb der Gesamtpopulation auch bei einem sechswöchigem Fütterungsintervall

b. statistische Verteilung der anteilsmäßigen Schwankungen der Adultengrößenklasse

5. gleichartige Zusammensetzung der Arten in allen Systemen trotz unterschiedlicher organischer Nahrungsbasis

6. weniger Collembolen in Systemen mit Raubmilben der Gattung Pergamasus (Ausnahme Lepidocyrtus: Zunahme in Systemen mit Raubmilben)

c. Schlußfolgerungen:

1. geringe Nahrungsspezialisierung der Collembolen (Entomobryiden)
2. periodische Nahrungsschwankungen nicht destabilisierend
3. Synchronisierung der Reproduktion: Anpassung an periodische Nahrungsschwankungen
4. temperaturkompensierender Mechanismus bei der Synchronisierung des Reproduktionsbeginns wahrscheinlich

XI. Literaturangabe

zitierte Literatur

Axtell, R.C. (1961). New records of north american macrochelidae (Acarinae: Mesostigmata) and their predation rates on the house fly. - Ann. Entomol. Soc. Amer. 54, 748

Birch, L.C. (1948). The intrinsic rate of natural increase of an insect population. - J. animal ecol. 17, 15 - 26

Chant, D.A. (1960). An unusual instance of phoresy in Acarina. - Ent. News 71, 270 - 271

Coaker, T.H.; Williams, D.A. (1963). The importance of some Carabidae and Staphylinidae as predators of the cabbage root fly, Erioichia brassicae (Bouché). - Ent. exp. & appl. 6, 156 - 164

Dinther, J.B.M. van; Mensink, F.T. (1956). Egg consumption by Bembidion ustulatum and Bembidion lampros (Coleoptera, Carabidae) in laboratory prey density experiments with house fly eggs. - Meded. van de Landbouwhogeschool en de opzoekingstations van de Staat de Gent

Domsch, K.H. (1963). Die Messung der Abbaufolgen im Boden. - in Soil organisms - Proceedings of the colloquim on soil fauna, soil microflora and their relationships, Oesterbeek, the Nederlands 1962, ed. Doekens, J.; Drift, J. van der, 212 - 221

Farish, D.I.; Axtell, R.C. (1966). Sensory functions of palps and first tarsi of Macrocheles muscaedomestica, a predator of the house fly. - Ann. Ent. Soc. Am. 59, 165 - 170

Filipponi, A. (1955). Sulla natura dell´ associazione tra Macrocheles muscaedomestica e Musca domestica. - Riv. Parassit. 16, 83 - 102

Filipponi, A. (1964). Experimental taxonomy applied to the Macrochelidae (acari: Mesostigmata). - in Proceedings of the 2nd International Congress of Acarology. Akademiai Kiadó, Budapest, 92 - 100

——; Petrelli, M.G. (1967). Autecologia e capacita moltiplicativa di Macrocheles muscaedomestica (Scopoli) (Acari, Mesostigmata). - Riv. di Parassit. 28, 129 - 156

——; Passariello, S. (1969). Influenza della temperatura sulla fecondita longevita e capacita moltiplicativa di Macrocheles peniculatus (Berlese) (Acari, Mesostigmata). - Rivista di Parassitologia 3o, 295 - 310

——; Petrelli, M.G.; Passariello, S. (1971). Contributi sperimentali di laborantorio sulla autecologia e demoecologia di Macrocheles penicilliger (Berl.) (Acari, Mesostigmata). - Bol. Zool. 38, 1 - 33

Ghilarov, M.S.; Bregetova, N.S. (Eds) (1977). Handbook for identification of soil inhabiting mites (Mesostigmata). - Leningrad: Zool. Inst. Akad. Sci. USSSR (In Russisch)

Gilmore S.K.; Raffensperger, E.M. (1970). Foods ingested by Tomocerus spp. (Collembola, Entomobryidae), in relation to habitat. - Pedobiologia 10, 135 - 140

Hirschmann, W. (1966). Milben (Acari). - Kosmos, Franck´sche Verlagsbuchhandlung Stuttgart

——— (1970). Gangsystematik der Parasitiformes, Teil 39: Rückenhaarbestimmungstabelle der Weibchen von Macrocheles und verwandten Gattungen (Holoaspella, Holocelaeno, Geholaspis). - Acarologie, Folge 14, Hirschmann Verlag, Fürth, Bayern

Hughes, R.D.; Mitchell, B. (196o). The natural mortality of Erioichia brassicae (Bouché) (Dipt., Anthomyidae): Life tables and their interpretation. - J. Animal Ecol. 28, 359 - 374

Joosse, E.N.G.; Testerink, G.J. (1977). The Role of Food in the Population Dynamics of Orchesella cincta (Linné) (Collembola). - Oecologia 29, 189 - 204

Karg, W. (1967). Synökologische Untersuchungen von Bodenmilben aus forstwirtschaftlich und landwirtschaftlich genutzten Böden. - Pedobiologia 7, 198 - 214

——— (1971). Die freilebenden Gamasina (Gamasides), Raubmilben - Die Tierwelt Deutschlands, VEB Gustav Fischer Verlag, Jena

Keymeulen, M.v.; Hertveldt, L.; Pelerents, C. (1981). Methods for improving both the quantitative and qualitative aspects of rearing Delia brassicae for sterile release programmes. - Ent. exp. & appl. 3o, 231 - 240

Laing, J.E. (1969). Life history and life table of Phytoseiulus persimilis (Athias-Henriot). - Acarologia 10, 578 - 588

Maack, G. (1977). Schadwirkung der Kleinen Kohlfliege (Phorbia brassicae, Bouché) und Möglichkeiten zur Reduzierung des Insektizidaufwands bei der Bekämpfung. - Mitteil. Biol. Bundesanstalt, Heft 177

Mertens, J.; Blancquaert, J.P. (198o). Population dynamics of Orchesella cincta (Collembola) in experimental conditions. - Pedobiologia 20, 301 - 308

McMillan, J.H. (1975). Interspecific and seasonal analysis of the gut contents of threeCollembola (Family Onychiuridae). - Rev. Ecol. Biol. Sol. 12, 449 - 457

Moser, J.C.; Roton, L.M. (1971). Mites associated with southern pine bark beetles in Allen Parish, Louisiana. - Can. Ent. 103, 1775 - 1798

Moursi, A.A. (1962). The attractiveness of CO_2 and N_2 to arthropoda. Pedobiologia 1, 299 - 302

Oliver, J.H.Jr. (1971). Parthogenesis in mites and ticks (Arachnida: Acari). - Am. Zoologist 11, 283 - 299

Ridgway, R.L.; Vinson, S.B. ed. (1977). Biological control by augmentation of natural enemies - plenum Press, proceedings of 15 the international congress of entomologie, Washington 1976

Riedel, M. (1967). Zur Biologie, Zucht und Sterilisation der Kohlfliege (Phorbia brassicae Bouché), unter besonderer Berücksichtigung ihres Vorkommens im Rettichanbau. - Bayrisches Landwirtschaftliches Jahrbuch 44, 387 - 429

Rodriguesz, J.G.; Wade, C.F. (1961). The nutrition of Macrocheles muscaedomestica in relation to its predatory action on house fly eggs. - Annals. Ent. Soc. Amer. 54, 782 - 788

———; Wade, C.F.; Wells, C.N. (1962). Nematodes as a natural food for Macrocheles muscaedomestica (Acarina, Macrochelidae), a predator of the house fly egg. - Ann. Ent. Soc. Amer. 56, 507 - 511

——— (1964). Nutritional stadies in the acarina. - Acarologia 6, 324 - 337

Schoene, W.J. (1916). The cabbage maggots, its biology and control. Bull. N.Y.St. agric Exp. Stn. N° 419, 104 - 124

Sedlag, U. (1980). Biologische Schädlingsbekämpfung, Akademie-Verlag, Berlin

Singh, S.B. (1969). Prelimary observations on food preference of certain collembola (Insecta). - Rev. Ecol. Biol. Sol. 6, 461 - 467

Soliman, Z.R.; Zaher, M.A.; Mohamed, M.I. (1978). Biology and predaceous effeciency of Macrocheles matrius (Hull) (Acari, Mesostigmata). - Z. ang. Ent. 85, 225 - 230

Vannier, G. (1970). Réactions des Microarthropodes aux variations de l´ état hydrique du sol. - Recherche cooperative sur programme du C.N.R.S. N° 40

Vereecke, A.; Hertveldt, L. (1971). Laboratory rearing of cabbage maggot. - J. econ. Ent. 64, 670 - 673

Wilde, J.De (1947). Onderzoek betreffende de koolvlieg en zijn bestrijding (investigations on the cabbage root maggot, Chortophilia brassacae (Bouché) and its control Tijsche Entomol. 88, 531 - 536

Wright, D.W.; Howells, W.R.; Bouwe, D.D. (1956). Natural enemies of the cabbage root fly. - Annual report National Vegetable Research Station 6, 47 - 48

Yaman, K.A. (1960). Natural control in cabbage root fly populations and influence of chemicals. - Meded. Landbouwhogeschool Wageningen 60, 1 - 57

weitere Literatur

1. Literatur zu Milben

Systematisch morphologische Arbeiten:

Athias-Henriot, C. (1965). Particularités biogeographiques des Pergamasus quisquiliarum paléartiques (Mesostigmata, Parasitidae). - Acarologia 7, 624 - 631

——— (1967). Observations sur Pergamasus II. Sous genre Pergamsus Berlese 19o4. - Acarologia 9, 67o - 724

Axtell, R.C. (1963). Acarina occuring in domestic animal manure. - Ann. Entomol. Soc. Amer. 54, 748

Bregetova, N.G.; Koroleva, E.V. (196o). Klesci semejstva Macrochelidae Vitzthum 193o, fauny SSSR. - Parasit. Sborn., Moskva 19, 23 - 154

Chant, D.A. (1959). Observations sur la famille des Phytoseiidae. - Acarologia 1, 11 - 22

——— (1959). Phytoseiid mites (Acarina: Phytoseiidae). Part. II. A taxonomic review of the family Phytoseiidae, with discriptions of 38 new species. Can. Ent., Suppl. 12, 65 - 165

Daele, E. van; Heungens, A. (1974). Gamasina mites from manure and litter in horticulture (Acari, Mesostigmata, Gamasina). Med. Fak. Landb. Wet. Gent, 39, 148 - 154

Dosse, G. (1958). Über einige neue Raubmilbenarten (Acari, Phytoseiidae). - Pflanzenschutzberichte 21, 44 - 61

Holzmann, C. (1969). Die Familie Parasitidae Oudemans 19o1. - Acarologie 13, 3 - 54, Hirschmann Verlag, Fürth/Bayern

Karg, W. (1971). Die freilebenden Gamasina, Raubmilben. - Die Tierwelt Deutschlands, VEB Gustav Fischer Verlag, Jena

——— (1972). Zur Kenntnis der Gattung Parasitus Latreille, 1795 (Acarina, Parasitiformes) aus Komposterden und Gurkenkulturen. - Dtsch. Ent. Z.N.F. 19, 55 - 63

Karg, W. (1978). Zur Kenntnis der Milbengattungen Hypoaspis, Androlaelaps und Reticulolaelaps (Acarina, Parasitiformes, Dermanyssidae). - Zool. Jb. Syst. Bd. 1o5, 1 - 32

Krantz, G.W. (1978). A manual of acarology. - 2nd edition, Oregon State University, Bock Stores, Inc. Corvallis

Krauss, W. (197o). Die europäischen Arten der Gattung Macrocheles Latreille 1829 und Geholaspis Berlese 1918. - Acarologie 14, 2 - 48, Hirschmann Verlag, Fürth/Bayern

Micherdzinski, W. (1969). Die Familie Parasitidae Oudemans 19o1 (Acarina, Mesostigmata). - Zaklad zoologii systemtycznej polskiej akademii Nauk (678 Seiten)

Samsinak, K. (196o). Über einige forstwirtschaftlich wichtige Milben der Gattung Proctolaelaps Berlese 1923. - Ceskoslovenska parasitologie 7, 297 - 3o7

Winkler, W. (1888). Anatomie der Gamasiden. - Arb. Zool. Inst. Wien 7, 1 - 38

Arbeiten zur Biologie, Ökologie der Milben:

Axtell, R.C. (1961). New records of north american macrochelidae (Acarina: Mesostigmata) and their predationen rates on the house fly. - Ann. Entomol. Soc. Amer. 54, 628 - 633

Berry, R.E. (1973). Biology of the predaceous mite, Pergamasus quisquiliarum, on garden Symphylan, Scutigerella immaculata, in the laboratory. - Ann. Entomol. Soc. Amer. 66, 1354 - 1356

Bhattacharyya, S.K. (1962). Laboratory studies on the feeding habits and life cycles of soil-inhabiting mites. - Pedobiologis 1, 291 - 298

Bund, C.F. van de (197o). Influence of crop and tillage on mites and springtails in arable soil. - Neth. J. agric. Sci. 18, 3o8 - 314

Butcher, J.W.; Snider, R.; Snider, R.J. (1971). Bioecology of edaphic collembola and acarina. - Anual rev. Ent. 16, 249 - 288

Chant, D.A. (1959). Phytoseiid mites (Acarina: Phytoseiidae). Part I. Bionomiics of seven species in southeastern England. - Can.Ent. Suppl.12, 1 - 65

Chi, H. (1980). Feind - Beute Beziehung von Onychiurus armatus und Hypoaspis aculeifer bei Temperatur- und Insektizideinfluß. - Diss. Göttingen

Dhillon, B.S.; Gibson, N.H.E. (1962). A study of acarina and collembola of agricultural soils. - Pedobiologia 1, 189 - 209

Dosse, G. (1956). Über die Bedeutung der Raubmilben innerhalb der Spinnmilbenbiozönose auf Apfel. - Mitteil. Biol. Bundesanstalt 85, 40- 44

Engelmann, M.D. (1966). The role of soil arthropods in the energetics of an old field community. - Ecol. Monographs 31, 221 - 238

Farahat, A.Z. (1966). Studies on the influence of some fungi on collembola and acari. - Pedobiologia 6, 258 - 268

Filipponi, A. (1955). Sulla natura dell´ associazione tra Macrocheles muscaedomestica e Musca domestica. - Riv. Parassit. 16, 83 - 102

———; Seganti, L. (1957). Arrenotochia in Macrocheles subbadius (Acarina, Mesostigmata). - Rendiconti. Instituto Superiore di Sanitá 20, 1043-1044

———; Petrelli, G. (1975). Richerche autoecologiche di laboratorio su tre species del gruppa Glaber (Acari, Mesostigamata). 3 Rapport sessi e dynamica di popolazione. - Riv. Parassit. 35,295 - 308

Hartenstein, R. (1962). Life history studies of Pergamsus crassipes and Amblygamasus septentrionales (Acarina, Parasitidae). - Annals of Soc. Amer.55, 192 - 202

Hirschmann, W. (1966). Milben (Acari). - Kosmos, Franck´sche Verlagsbuchhandlung Stuttgart

Ito, Y. (1977). Predatory activity of mesostigmatid mites (Acarina, Mesostigmata) for house fly eggs and larvae under feeding of nematodes. Japanese journal of sanitary zoology 28, 167 - 173 (english summary)

Karg, W. (1961). Ökologische Untersuchungen an edaphischen Gamasiden (Acarina, Parasitiformes). - Pedobiologia 1, Teil 1 : 53 - 74 , Teil 2 77 - 96

——— (1962). Systematik und postembryonale Entwicklung der Gamasiden (Acarina, Parasitiformes) landwirtschaftlich genutzter Böden.- Mitteil. Zool. Mus. Berlin 38, 24 - 119

——— (1965). Entwicklungsgeschichtliche Betrachtungen zur Ökologie der Gamasina (Acarina, Parasitiformes). - Zeszyty problemoe postepow Nauk polniczych 65, 139 - 155

——— (1968 a). Ökologische Untersuchungen an Milben aus Komposterden im Freiland und unter Glas, besonders im Hinblick auf die Uroobovella marginata C.L. Koch. - Archiv für Pflanzenschutz Berlin, 4, 93 - 122

——— (1968 b). Bodenbiologische Untersuchungen über die Eignung von Milben insbesondere von parasitiformen Raubmilben als Indikatoren.- Pedobiologia 8, 30 - 39

Kinn, D.N. (1966). Predation by the mite, Macrocheles muscaedomestica (Acarina, Mesostigmata) on three species of flies. - J.med. ent.3, 155-158

Leitner, E. (1946). Zur Kenntnis der Milbenfauna auf Düngerstätten. - Zentralblatt für das Gesamtgebiet der Entomologie, Linz, 75 - 95

Michael, A.D. (1881). Observations on the histories of gamasinae. - Journal of Linnean Society of London, Zoology 15, 297 - 313

Neumann, K.W. (1943). Die Lebensgeschichte der Käfermilbe Poecilochirus necrophori Vitzth. nebst Beschreibung aller Entwicklungsstufen.- Zool. Anz. 142, 1 - 21

Rapp, A. (1959). Zur Biologie der Käfermilbe Parasitus coleoptratorum L. 1758 - Zool. Jhb. (Syst.) 86, 303 - 366

Rodriguesz, J.G.; Wade, C.F.; Wells, C.N. (1962). Nematodes as a natural food for Macrocheles muscaedomestica (Acarina, Macrochelidae), a predator of the house fly egg. - Ann.Ent.Soc.Amer. 56, 507 - 511

Singer,G.; Kranz,G.W. (1967). The use of nematodes and oligochaetes for rearing predatory mites. - Acarologia 9, 485 - 487

Traghardt,I (1943). Die Milben und ihre ökologischen Beziehungen zu Insekten.- Arb. physiol. angew. Ent., Berlin-Dahlem, 10, 124 - 136

Weis-Fogh, T. (1947). Ecological investigations on mites and colllemboles in the soil. - Naturhistorisk Museum, Aarhus, Denmark, 133-247

physiologische und methodische Arbeiten zu Milben:

Anderson, J.M. (1978). Competition between two unrelated species of soil cryptostigmata (Acari) in experimental microcosms. - J. animal Ecol. 47, 787 - 803

Atalla, E.A.R.; Hobart,J. (1964). The survival of some mites at different humidities and their reaction to humudity gradients. - Ent. exp. & appl. 7, 215 - 228

Berthel, P.; Gerard, G. (1965). A statistical study of microdistribution of Orbatei (Acari). - Oikos 16, 214 - 227

Coleman. D.C.; McGinnis, J.T. (1970). Quantifikation of fungus- small arthropod food chains in the soil. - Oikos 21, 134 - 137

Croft, B.A.; Welch, S.M.; Dover, M.J. (1976). Dispersion statistics and sample size estimates for populations of the mite species Panonychus ulmi and Amblyseius fallacis on apple. Enviromental entomology 5, 227 - 234

Franz, H.G. (1974). The functional response to prey density in an acarine system. - Center for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen

Herbert, H.J. (1981). Biology, life tables and intrinsic rate of increase of the european red mite, Panonychus ulmi (Acarina, Tetranychidae).- Can. Ent. 113, 65 - 71

Huffaker, C.B. (1958). Experimental studies on predation: Dispersion factors and predator - prey oscillations. - Hilgardia 27, 343 - 383

Ito, Y. (1973). Effect of isolation on the molt of Parasitus spec. deutonymphs (Acarina, Mesostigmata). - Appl. Ent. Zool.8, 1 - 7

Jail, M.; Rodriguesz, J.G. (1970). Biology of and odor perception by Fuscuropoda vegetans (Acarina: Uropodidae), a predator of the house fly. - Annals of the Ent. Soc. Amer. 63, 935 - 938

Lobbes, P.; Schotten, C. (1980). Capacities of increase of the soil mite Hypoaspis aculeifer Canestrini (Mesostigmata, Laelapidae). - Z. angew. Entomol.90, 9 - 22

Madge, D.S. (1965). The behaviour of Belba geniculosa Oudemans and certain other species of orbatid mites in controlled temperature gradients.- Acarologia 7, 389 - 406

Miguel, A.S. (1976). Prey selectivity and switching response of Zetzellia mali. - Oecologia 57, 390 - 394

Ohnesorge, B. (1981). Populationsdynamische Untersuchungen in einem Räuber-Beutetier-System: Phytoseiulus persimilis A.-H. (Acarina, Phytoseiidae) und Tetranychus urticae Koch, 1.Teil: Reproduktionswert, Verzehrwert und Verzehrpotential. - Z. ang. Ent.91, 25 - 49

Paul, E.A.; Biederbeck, V.O.; Rosha, N.S. (1970). Investigation of the metabolism of soil microorganisms by the use of C^{14} . in Methods of study in soil ecology, ed. Phillipson J., Unesco, Paris

Arbeiten zu Milben und ihren Möglichkeiten in der biologischen Bekämpfung:

André, H. (1980). Acariens, Scolytes et lutte biologique. - Z. ang. Ent. 90, 127 - 133

Axtell, R.C. (1969). Macochelidae as biological control agents for synanthropic flies. - Proc. 2nd. international congress of acarology 1967,401-416

Houseweart, M.W.; Jennings, D.T.; Berkett, L.P.; Brann, T.B. (1980). Parasitic mites (Acari, Erythraeidae) on spruce budworm moth (Lepidioptera, Tortricidae). - Can. Ent.112, 193 - 197

Lanciani, C.A.; Boxt, A.D. (1977). The effect of a parasitic mite, Arrenurus pseudotenuicollis (Acari: Hydrachnellae), on the survival and reproduktion of the mosquito Anopheles crucians (Diptera: Culicidae). - J. Med. Entomol. 14, 10 - 15

Moser, J.; Roton, L.M. (1971). Mites associated with southern pine bark beetles in Allen Parish, Louisiana. - Can. Ent. 103, 1775 - 1799

Poinar, G.O. (1964). An association between Pelodera (Coartadera) Acarambates n. sp. (Rhabditina: Nematoda) and macrochelid mites (Mesostigmata: Acari). - Nematologia 10, 507 - 511

Reisen, W.K.; Mullen, G.R. (1978). Ecological observations on acarine associates (Acari) of Paktistan mosquitoes (Diptera, Culicidae). - Enviromental entomology 17, 769 - 776

Rodriguesz, J.G.; Singh, P.; Taylor, B. (1970). Manure mites and their role in fly control. - J. Med. Ent. 7, 335 - 341

Rust, J.J. (1933). Many bark beetles destroyed by predacious mites. - J. econom. ent. 26, 733 - 734

Samsinak, K. (1964). Die Milben als Überträger von Insektenkrankheiten. - Vestnik Ceskoslovenske spolecnosti zoologicke 28, 234 - 236

Samsinakova, A.; Samsinak, K. (1970). Milben (Acari) als Vertreter des Pilzes Beauveria bassiana (Bals.) Vuill. - Z. Parasitenkunde 34, 351 - 355

2. Literatur zu Collembolen

Butcher, J.W.; Snider, R.; Snider, R.J. (1971). Bioecology of edaphic collembola an acarina. - Anual rev. Ent. 16, 249 - 288

Goto, H.E. (1962). Simple techniques for rearing od collembola and a note on the use of a fungistatic substance in culures. Entomologists monthly magazine 96, London, 138 - 14o

Hale, W.G. (1965). Observations on the breeding biology of collembola (1) - Pedobiologia 5, 146 - 152

Hale, W.G. (1965b.) Post-embryonic development in some species of collembola Pedobiologia 5, 228 - 243

——— (198o). Production and energy flow in two species of Onychiurus (Collembola, Insecta Apterygota). - Pedobiologia 20, 274 - 287

Joosse, E.N.G.; Brugman, F.A.; Veld, C.J. (1973). The effecht of constant and fluctuating temperatures on the production of spermatophores and eggs in populations of Orchesella sincta (Linné), (Collembola, Entomobryidae). - Netherlands Journ. Zool. 23, 488 - 502

Lindemann, W. (195o). Untersuchungen zur postembryonalen Entwicklung schweizerischer Orchesellen. - Rev. Suisse de Zool., T. 57, 353 - 428

Thibaud, J.M. (1968). Contribution á l´étude de l´action des facteurs température et humidité sur la durée du développment embryonnaire des Collemboles Hypogastruridae. - Rev. Ecol. Biol. Sol. 5, 55 - 62

——— (1968 b). Contribution á l´étude de l´action des facteurs température et humidité sur la durée du developpement postembryonaire et l´intermue de l´adulte chez les Collembole Hypogastruidae. - Rev. Ecol. Biol. Sol. 5, 265 - 281

Törne, E.v. (1964). Über die Aufzucht und Haltung individuenreicher Collembolenpopulationen. - Pedobiologia 4, 256 - 264

Weis-Fogh, T. (1947). Ecological investigations on mites and collemboles in the soil Naturhistorisk Museum, Aarhus, Denmark, 138 - 247

3. Literatur zu ökologischen Methoden und Theorien

Arbeiten zu experimentellen Methoden

Asmus, B.S.; O´Niell, E.G. (1978). Comparison of carbon dynamics of three microcosm substrates. - Soil Biol. Biochem. 10, 425 - 429

Barsdate, R.J.; Prentki, R.T.; Fenchel, T. (1974). Phosphorus cycle of model ecosystems: significance for decomposer food chains and effect of bacterial grasers. - Oikos 25, 239 - 251

Beyers, R.J. (1964). The microcosm approach to ecosytem biology. - American biology teacher 26, 491 - 498

Brucker, G.; Kalusche, D. (1976). Bodenbiologisches Praktikum. - Quelle & Meyer, Heidelberg

Del Fosse, E.S. (1976). A new aspirator for collecting large numbers of live mites (Acari: Galumnidae). - The Florida Entomol.59, 368

Edwards, C.A.; Fletcher,K.E. (1970). A comperison of extraction methods for terrestrial arthropods. - in Methods of study in soil ecology, ed. Phillipson, J.; Unesco, Paris, 150 - 185

Edwards, N.T. (1974). A moving chamber design for measuring soil respiration rates. - Oikos 25, 97 - 101

Giesy, J.P. ed. (1980). Microcosms in ecological research. - Technical Information Center U.S. Department of Energy

Janetschek, H. (1982). Ökologische Feldmethoden, Verlag Eugen Ulmer Stuttgart

Luckinbill, L. S. (1979). Regulation, stability and diversity in a model experimental microcosm. - Ecology 60, 1098 - 1102

MacFayden, A. (1971). The soil and its total metabolism. - in Methods of study in quantitative soil ecology: population, production and energy flow. - ed. Philipson J., IBP handbook 18, 1 - 13

Müller, G. (1962). A centrifugal flotation extraction technique and its comparison with two funnel extractors. - Progress in Soil Zoology, Hertfordshire, 207 - 211

Murphy, P.W. (1962). Extraction methods for soil animals. I. Dynamic methods with particular reference to funnel processes. - Progress in Soil zoology , ed. Murphy, P.W. , 75 - 114

Peterson, H. (1978). Some properties of two high gradient extractors for soil microarthropods, and an attempt to evaluat their extraction efficiency. - Natura jutlandica 20, 95 - 122

Stebaeva, S.K. (1967). Pedobiologische Experimente mit ausgetauschten Bodenblöcken im südöstlichen Altai Gebirge und der Severnaja Baraba. - Pedobiologia 7, 172 - 191

Tullgren, A. (1918). Ein sehr einfacher Ausleseapparat für terricole Tierformen. - Z. angew. Ent. 4, 149 - 150

Vereecke, A.; Hertveldt, L. (1971). Laboratory rearing of cabbage maggot. - J. econ. Ent. 64, 670 - 673

Arbeiten zur theoretischen Ökologie

Albrecht, F.; Gatzke, H.; Haddad, A.; Wax, N.(1974). The dynamics of two interacting populations. - J. math. Analysis and Application 46, 658 - 67o

Brauer, F.; Soudak, A.C. (1979). Stability regions and transition phenomena for harvested predator-prey systems. - J. Math. Biol. 7, 309 - 314

Clapp, R.E. (1981). Entropy flow in cyclic biological processes. - J. theor. Biol. 92, 15 - 21

Dobben, W.H. van; Lowe-McConnell, R.H. (1975). Unifying concepts in ecology. - Report of the plenary sessions of First international congress of ecology, The Hague, the Nederlands, 1974, Wageningen

Flanders, S.E.; Badgley, M.E. (1963). Prey-predator interactions in self-balanced laboratory populations. - Hilgardia 35, 145 - 183

Ford, J. (1946). Research on populations of Tribolium confusum and its bearing on ecological theory: a summery. - J. animal. ecol. 6

Hannon, B. (1979). Total energy costs in ecosystems. - J. theor. Biol. 8o, 271 - 293

Hassell, M.P.; Rogers, D.J. (1972). Insect parasite responses in the development of populationen models. - J. Animal. Ecol. 41, 661 - 667

———; May, R.M. (1973). Stability in insect host-parasite models. - J. Animal Ecology 42, 693 - 726

Hochachka, P.W.; Somero, G.N. (1980). Strategien biochemischer Anpassung.- Georg Thieme Verlag, Stuttgart

Merrell, D.J. (1981). Ecological genetics. - Langman, London

Mitchell, R. (1981). Insect behavior, resource exploitation and fitness.- Ann. Rev. Entomol 26, 373 - 396

Morowitz, H.J. (1980). The dimensionality of niche space. - J. theor. Biol. 86, 259 - 263

Nicolson, A.J. (1933). The balance of animal populations. - J. Animal. Ecol. 2, Subbl., 132 - 178

——— (1957). The self adjustment of populations to change. - Cold Spring Habor Symposia on quantitative biology 22, 153 - 173

Odum, E.P. (1976). Fundamentals of ecology. - Third edition, W.B. Saunders Company, Philadelphia

Pickett, S.T.A.; Bazzaz, F.A. (1978). Organisation of an assemblage of early successional species on a soil moisture gradient. - Ecology 59, 1248 - 1255

Price, P.W. (1975). Insect ecology. - Wiley interscience publication

Real, L.A. (1979). Ecological determinants of functional response. - Ecology 60, 481 - 485

Reichle, D.E. (1975). The role of soil invertebrates in nutrient cycling.- Ecol. Bull.25,(Stockholm),145 - 156

Richards, O.W.; Waloff, N.; Spradberry, J.P. (1960). The measurement of mortality in an insect population in which recruitment and mortality widely overlap. - Oikos 11, 306 - 310

Rübel, E. (1933). The replacebility of ecological factors and the law of the minimum. - Ecology 16, 336 - 341

Sandler, L.; Novitski, E. (1957). Meiotic drive as an evolutionary force. Amer. Naturalist 41, 105 - 110

Stenseth, N.C. (1980). Spatial heterogenity and population stability: some evolutionary consequences. - Oikos 35, 165 - 184

Lebenslauf

Horst Günter Mielke

geboren am 23. 8. 1950 in Engelskirchen

1957 Zu Ostern wurde ich in die ev. Volksschule Am Broich in Bergisch Gladbach eingeschult.

1962 Nach der fünften Klasse wechselte ich zum humanistischen Nicolaus Cusanus Gymnasium in Bergisch Gladbach. In der Untertertia entschied ich mich mit der Wahl der französischen Sprache als dritter Fremdsprache für den neusprachlichen Zweig.

1971 Beim Abitur am gleichen Gymnasium gehörte ich zu den Besten der Klasse.

WS 1971 Mit Beginn des Wintersemesters schrieb ich mich zum Biologie Diplom-Studiengang an der Universität Köln ein.

WS 1973 Nach dem vierten Semester legte ich die Vordiplomprüfung der Universität Köln ab.

SS 1974 Danach wechselte ich zur Philipps Universität in Marburg.

SS 1975 Nach zwei Semestern in Marburg setzte ich mein Studium an der Universität Tübingen fort.
Dort gründete und führte ich mit drei Kommilitonen neben meinem Studium einen Laden zur biologischen Ernährung. Als mich dann meine Diplomarbeit zu stark beanspruchte, schied ich aus der Geschäftstätigkeit aus.

WS 1979 Mit dem Abschluß meiner Diplomarbeit über die optische Entfernungsanalyse bei freifliegenden Bienen erhielt ich das Diplom der Universität Tübingen.

WS 1979 Im gleichen Semester begann ich mit meiner Dissertation. Mit ihr wendete ich mich einem mehr anwendungsorientierten, ökologischen Thema aus dem biologischen Pflanzenschutz zu: dem Einsatz von biotopfremden Raubmilben zur Bekämpfung schädlicher Dipteren im Ackerboden.
Bedingt durch die Notwendigkeit zu einer breitangelegten, bodenökologischen Untersuchung ergab die Analyse der Daten eine zweite Arbeit, die Einblicke in die Fraß- und Überlebensstrategie konkurrierender Collembolen unter simulierten Ackerbiotopbedingungen gaben.

SS 1984 Nach meiner mündlichen Prüfung erhalte ich das Doktordiplom der Universität Tübingen.

Lehrer, denen ich meine akademische Ausbildung verdanke, waren:

Botanik:

Prof. Dr. L. Bergmann

Pflanzenphysiologie:

Dr. W. Engelmann, Prof. Dr. W. Nultsch,
Dr. K. Wegmann, Prof. Dr. H. Senger

Zoologie:

Dr. H. W. Bohley, Dr. Chr. Kirchner

Anatomie / Histologie:

Prof. Dr. J.W. Rohen, Prof. Dr. K.A. Seitz

Zoophysiologie:

Prof. Dr. Chr. Buchholtz, Prof. Dr. W. Engels,
Prof. Dr. H. Hensel

Biokybernetik:

Prof. Dr. W. Pohley, Prof. Dr. D. Varjú

Genetik:

Dr. M. Fricke, Prof. Dr. J. Müller Hill,
Prof. Dr. G.F. Meyer, Prof. Dr. W. Seyffert,
Prof. Dr. D. Sperlich, Prof. Dr. K. Wöhrmann,

Biochemie:

Prof. Dr. J. Jaenicke, Prof. P. Karlson

Ökologie:

Prof. Dr. D. Neumann, Prof. Dr. S. Winkler